Die elektrischen Kohlenglühfaden-Lampen

ihre

Herstellung und Prüfung

Von

Heinrich Weber



Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung, Hannover


Digitized by Google

Die elektrischen

Kohlenglühfadenlampen

ihre Herstellung und Prüfung

Von

Heinrich Weber

Elektrochemiker

Mit 166 in den Text gedruckten Figuren



Hannover

Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung

1908

Seinem verehrten Lehrer

Herrn Regierungsrat R. Caspari,
Professor an der Königlichen Gewerbeakademie zu Chemnitz,

in Dankbarkeit zugeeignet

vom Verfasser.

Vorwort.

Das vorliegende Buch soll die notwendige Ergänzung zu dem vor kurzem beim gleichen Verlag erschienenen Teil „Die Kohlenglühfäden“ bilden, d. h. es soll in kurzer, übersichtlicher Weise geschildert werden, wie der vorbereitete Kohlenfaden als Glühkörper in der bekannten Glühbirne angeordnet wird und hierauf nach weiteren verschiedenen Prozeduren eine gute Lampe entsteht.

Die Methoden der Herstellung sind nun so verschiedene und haben im Laufe der Zeit so große Veränderungen erlitten, daß es der Verfasser für nötig gehalten hat, soweit es den Rahmen des Buches nicht überschritt, eingehend die geschichtliche Entwicklung der einzelnen Fabrikationsstufen zu beschreiben. Selbstverständlich wurde acht darauf gegeben, daß die neuesten Systeme, soweit sie fast allgemein eingeführt worden sind, in ausführlichster Weise, dem Nichtfachmann leicht verständlich, den Fabrikanten selbst auf manches bisher Unklare hinweisend, behandelt wurden.

Auch hier gilt wieder, vielleicht nicht in so weitem Maße, das, was im Vorwort des ersten Bandes gesagt wurde. Die Geheimniskrämerei in diesem gewaltigen Industriezweige ist derart entwickelt, wie sie sonst wohl nirgends zu finden ist. (Vergl. auch Kritik v. Dr. Monasch über den ersten Band, Techn. Lit. 4. Jahrgang, März 1907, Verlag Dr. M. Jänecke, Hannover.)

Wenn man aber, wie der Verfasser, jahrelang in leitenden Stellungen bei den größten Glühlampenfabriken des Kontinentes tätig war, so wird man finden, daß hinter dieser Geheimniskrämerei beinahe gar nichts steckt. Wohl kann man einer Glühlampe nicht ohne weiteres bis ins Detail ansehen, nach welcher Methode und mit welchen maschinellen Einrichtungen z. B. die Einschmelzung erfolgte, oder in welcher Weise das

notwendige Vakuum erreicht wurde, sicher ist aber, wie der Verfasser behauptet, daß gewöhnlich nur recht untergeordnete Abänderungen getroffen werden, die sich wirklich nicht verlohnen geheimgehalten zu werden.

Auch bei dieser Arbeit bin ich in reichlichem Maße von Spezialmaschinenfabriken und bekannten Glühlampentechnikern unterstützt worden. Ganz besonderer Dank gebührt den Herren Direktor Rauscher und Obermeister W. C. Schübel von der Elektrischen Glühlampenfabrik „Watt" in Wien und und dem nunmehr verstorbenen Herrn Kommerzialrat Latzko, der mir in freundlichster Weise Bücher und Patentschriften zur Verfügung stellte.

Die Ausführung der Zeichnungen lag wieder in den Händen des Technikers Herrn B. Mahrholz, Charlottenburg.

Berlin, im Mai 1907.

Heinrich Weber.

Inhaltsverzeichnis.

I. Einleitung.

Wenn ein Laie eine Glühlampe irgendwelcher Art und Form in die Hand nimmt und sich betrachtet, so kann man mit Sicherheit wetten, daß er kaum eine Ahnung hat von der Herstellungsweise dieses Körpers, der, wie wohl kein anderes industrielles Erzeugnis, eine so rapide Verbreitung und Anwendung gefunden hat, so daß er kaum noch als etwas Besonderes auffällt. Mindestens aber ist anzunehmen, daß die Vorstellung von der Schwierigkeit der Fabrikation vollständig fehlt. In der Tat sieht eine gewöhnliche Glühlampe, im Laienmunde „Glühbirne" genannt, so merkwürdig einfach und anspruchslos aus, daß man dahinter nicht ohne weiteres eine komplizierte Herstellungsweise vermuten kann. Und doch verursacht die Fabrikation guter Glühlampen eine Unmenge von Schwierigkeiten, die mit Geschick überwunden werden müssen. Die einzelnen Fabrikationsstufen sind viel zahlreicher als bei vielen anderen Industrieprodukten und erheischen eine peinlich genaue Ausführung und vor allem eine gute Beobachtungsgabe. Es wird noch lange keine gute Glühlampe erzielt, wenn man einen Kohlenfaden an die Elektroden ankittet, den Fuß mit der Kohle in die Glasbirne einschmilzt und die Lampe luftleer pumpt. Dazu gehören neben guten Apparaten bestimmte, zu verwendende Materialien, erprobte Detailmethoden und besonders die Fähigkeit zu beurteilen, ob die erzeugte Lampe ein erstklassiges Fabrikat darstellt oder als minderwertig zu bezeichnen ist. Es gehört demnach auch zu einer gewissenhaften Fabrikation eine fortlaufende Prüfung der Lampen, d. h. es müssen mit beliebigen, aus der Fabrikation entnommenen Lampen regelmäßig Brenndauerversuche gemacht werden, um sich immer wieder von der Güte der Lampen zu überzeugen und sicher zu sein, dem Konsumenten, der in der Glühlampenbranche immer unzufrieden ist, das

Beste geliefert zu haben. Und doch wird der Konsument hin und wieder eine Lampe bringen, die nach anormal kurzer Brennzeit schwarz geworden oder gänzlich zugrunde gegangen ist. Das liegt wohl daran, daß auch bei den sorgfältigsten Prüfungen Lampen mit durchschlüpfen, deren Krankheiten nicht ohne weiteres erkannt werden können und sich in der Regel erst nach mehrstündigem Brennen zeigen. Oft liegt der Grund auch darin, daß die Lampen trotz genauer Vorschriften vom Konsumenten falsch behandelt worden sind, oder daß erst nachträglich durch das Brennen Fehler entstanden sind, z. B. Fußsprünge usw. Dies war immer so und wird wohl auch trotz bester Fabrikationsmethoden und Untersuchungsverfahren immer so bleiben.

Selbstredend haben die Fabrikationsmethoden im Laufe der Zeit ebenso gewaltige Fortschritte gemacht wie die zur Herstellung der Kohlenfäden. Es wurden die mannigfaltigsten Verbesserungen in jeder Phase der Herstellung geschaffen, die es ermöglichten, eine ungleich größere Zahl Lampen von viel besserer Qualität als früher herzustellen. Bedingt wurden diese Verbesserungen durch den immer rapider anwachsenden Konsum an Lampen und das stetige Fallen des Verkaufspreises. Während vor etwa 20—25 Jahren der Preis einer normalen Lampe, z. B. für 110 Volt und 25 Kerzen, ca. 10 M. betrug, kostet heute eine derartige Lampe etwa 40 bis 50 Pfennige. Es ist wohl klar ersichtlich, daß diese Verbilligung nur eintreten konnte, wenn der Fabrikant in der Lage war, an allen Ecken zu sparen und die Leistungsfähigkeit in bezug auf Produktion außerordentlich zu steigern. Selbstverständlich durfte die Qualität der Lampen darunter nicht leiden. Dies ist auch nicht eingetreten, im Gegenteil ist in dieser Hinsicht eine enorme Verbesserung zu verzeichnen.

Bedeutende Vereinfachungen und Verbesserungen sind in allen Stufen der Fabrikation gemacht worden, die näher bei der Besprechung der einzelnen Manipulationen besprochen werden sollen. Um nur einige interessante Beispiele im allgemeinen anzuführen, denen solche zu Parallelvergleichungen aus der Kohlenfädenfabrikation gegenübergestellt worden sind, sei folgendes erwähnt:

Bei Verwendung der alten Bambusfäden und -kohlen wurden bei einer Fabrikation von 20 000 Lampen pro Tag etwa 350 Leute gebraucht zum Zerschneiden des Bambusrohres, zum Entfernen des Markes, Schneiden der Stäbchen

und Ziehen der Bambusfasern. Ein Kohlenfaden kostete hierbei etwa 5—8 Pfennige. Für eine Produktion von 40—45 000 Kohlen pro Tag nach dem modernen Spritzverfahren (Eisessig-Collodium und Chlorzinkverfahren) sind etwa 15 Leute notwendig, und der Gestehungspreis von 1000 Stück Kohlen beträgt je nach Einrichtung und Verfahren 3—4 Mark, für eine Kohle demnach etwa 0,3—0,4 Pfennige.

Ähnliche Umwälzungen sind nun in der Lampenfabrikation selbst anzutreffen. Ein geübter Glasbläser konnte z. B. nach dem alten deutschen Einschmelzverfahren täglich ungefähr 200 Lampen einschmelzen, wofür pro Stück 3—4 Pfennige bezahlt wurden. Nach der neuesten amerikanischen Maschineneinschmelzmethode verfertigt eine Arbeiterin nach kurzer Lehrzeit täglich 800—900 Lampen, für einen Stückpreis von 0,35—0,40 Pfennigen im Mittel.

Die Lampenbirnen wurden in der ersten Zeit der Fabrikation, teilweise noch bis zum Jahre 1894, ausnahmslos in den Glühlampenfabriken selbst hergestellt durch Aufblasen entsprechend dimensionierter Glasröhren. Zu dieser Arbeit konnten nur recht geschickte Glasbläser Verwendung finden. Hierfür wurden je nach Größe und Form der geblasenen Form 12—25 Pfennige pro Stück bezahlt. Die Produktionszahl pro Bläser betrug etwa 60—70 Stück täglich. Heute werden diese Körper mit wenig Ausnahmen in schöner, gleichmäßiger Form in Spezialglashütten in ungeheurer Anzahl hergestellt für einen Durchschnittspreis von etwa 2 bis 3 Pfennigen pro Stück für die üblichen Typen. Nur ausnahmsweise läßt der Glühlampenproduzent bestimmte, wenig verlangte Sorten selbst anfertigen.

In gleicher Weise sind ähnliche Fortschritte in den weiteren Fabrikationsstufen zu verzeichnen. Es sei hier vor allem nur kurz auf das Entlüften der Lampen hingewiesen, welches früher viel Schwierigkeiten verursachte und eine langwierige Arbeit darstellte, heute aber sich infolge von wesentlichen Verbesserungen der Pumpen und der Evakuierverfahren ebenso glatt durchführen läßt wie die sonstigen Manipulationen.

Schließlich seien noch kurz die Verwendungsgebiete der elektrischen Glühlampen erwähnt, deren ausgedehnteste, zur Allgemeinbeleuchtung von Zimmern, Sälen und Straßen, bekannt sind. In den letzten Jahren haben sich nun eine Menge anderer Anwendungen hinzugesellt. So werden jetzt buntgefärbte Lampen zu Illuminationszwecken und effektvoller

Beleuchtung von Schaustücken und Schaufenstern verwendet, ebenso zur Erzielung einer wirkungsvollen Reklame, wie sie jetzt in reichlichem Maße zur Bewunderung Veranlassung gibt. Diese Anhäufung von Glühlampen, die in den mannigfaltigsten Farben und oft in recht bizarren Formen ihr Licht ausstrahlen, gewähren bei geschmackvoller Anordnung einen feenhaften Anblick, so ganz besonders bei Theater- und Ballettbeleuchtungen. Ebenso werden unsere trauten Wachslichter am Christbaum allmählich durch kerzenförmige elektrische Lämpchen ersetzt, die, vielleicht aus Mattglas hergestellt, einen wunderbar ruhigen und anheimelnden Eindruck hervorbringen zum Entzücken der Kinder, denen es rätselhaft und geheimnisvoll erscheint, daß man den ganzen Baum durch eine bloße Handbewegung im Lichterglanz erstrahlen lassen kann. Ganz hervorragend reizend wirken Lämpchen in Gestalt von Obst und Blumen, z. B. Äpfel, Kirschen, Weintrauben usw., die einen wunderhübschen Anblick gewähren bei geeigneten Zusammenstellungen zu Fruchtkörben und als leuchtende Tischdekoration bei festlichen Gelegenheiten Anwendung finden.

Sehr wertvolle Anwendungen hat sich die Glühlampe auch errungen in der Eisenbahnzug- und Wagenlaternenbeleuchtung, ebenso die zur Beleuchtung der kleinen Taschenlaternen. So werden z. B. weiter hochkerzige Focuslampen (von 200 bis 300 Kerzen) mit Vorteil wegen ihres absolut ruhigen Lichtes als Lichtquellen für Scheinwerfer und Projektionsapparaten benutzt. Auch viele andere optische und photographische Apparate sind mit elektrischen Glühlampen ausgestattet.

Auch die ärztliche Praxis hat sich die Glühlampe als Hilfsmittel zunutze gemacht. Es sei nur erinnert an die sogenannten Ausleuchtlampen zum Belichten und Untersuchen der Rachen und Nasenorgane und die Augenlampen.

Eine der letzten Anwendungen der elektrischen Glühlampen ist die der Signallampen für Telephon- und Telegraphenzentralen. Durch ein kurzes Aufleuchten dieser Lämpchen wird angezeigt, daß ein Teilnehmer eine Gesprächverbindung wünscht, und ebenso durch ein längeres Aufleuchten die Beendigung des Gespräches angemeldet. Eine äußerst interessante Anwendung sind endlich noch kleine Miniaturlampen in Kegelform, die bei Geschützen am Korn aufgeschraubt, das Zielen und Feuern in der Nacht erleichtern.

Der Glühlampentechniker hat sich nun mit der Anfertigung aller dieser verschiedenen Lampentypen zu befassen

und muß hierbei die Wünsche des Konsumenten berücksichtigen, um allen Anforderungen gerecht zu werden. Die einen verlangen eine Lampe von bestimmter Spannung und Leuchtkraft in Kerzenform, während andere dieselbe in Kugel- oder Röhrenform angefertigt wünschen. Die einen wünschen die Lampe aus Klarglas zu besitzen, während andere wieder mattierte, gefärbte oder mit Silberspiegel versehene Lampen bevorzugen. So kommt es, daß bald viele Hunderte von Typen entstehen, die die Einheitlichkeit der Fabrikation sehr erschweren. Im allgemeinen werden für das notwendige Lager nur die gangbarsten Sorten angefertigt, um eine recht kostspielige Überfüllung desselben zu vermeiden. Es kann nun nicht der Zweck vorliegenden Buches sein, alle die auftretenden Einzelheiten zu beschreiben, sondern nur eine genaue Beschreibung der am meisten verwendeten Fabrikationsmethoden zu geben, um ein klares und übersichtliches Bild dieses gewaltigen Industriezweiges zu erhalten. Zum leichteren Verständnis war eine reichliche Menge von Zeichnungen und Skizzen notwendig, die direkt der Fabrikation entnommen sind.

II. Die geschichtliche Entwicklung der elektrischen Glühlampen.

Unsere heutige Glühlampe ist, wie so viele andere epochenmachenden Erfindungen, nicht mit einem Schlage in seiner Vollkommenheit entstanden, sondern es hat einer langen Reihe von Jahren und der hingebenden Arbeit vieler Männer, sowohl Gelehrter als auch der zur Arbeit herangezogenen Leute, bedurft, um der Erfindung die heutige Gestalt und Qualität zu geben. Die Glühlampe ist aus der Erfahrung entstanden, daß dünne Metalldrähte durch Hindurchschicken einer genügenden Menge elektrischen Stromes zum Glühen und Leuchten gebracht werden können. Schon im Jahre 1802 bewirkte Humphry Dary mittels einer Reihe galvanischer Elemente das Glühen eines dünnen Platindrahtes, doch wurde diese Beobachtung weder weiter verfolgt noch praktisch ausgenutzt. Es verging dann eine lange Reihe von Jahren, ohne daß man von ähnlichen Versuchen etwas gehört hätte. Erst im Jahre 1838 schlug Jobart in Brüssel vor, Kohlenstäbchen, die an beiden Enden mit Stromzuführungsdrähten versehen waren, im luftverdünnten oder leeren Raum zum Glühen zu bringen und so als Lichtquelle zu benutzen. Aber dieser erste Versuch, eine brauchbare elektrische Lampe zu erzeugen, schlug fehl, wahrscheinlich aus dem Grunde, weil die aus Retortenkohle verfertigten Stäbchen zu dick waren und zum Glühen derselben ein für die damalige Zeit gewaltiger Stromaufwand notwendig war, während bei Anwendung dünnerer Stäbchen infolge des höheren Widerstandes eine nur durch Hintereinanderschalten vieler galvanischer Elemente erreichbare hohe Spannung benötigt wurde. Hierauf wurde wieder eine Zeitlang nicht von ähnlichen Bestrebungen gehört, bis im Jahre 1841 F. Moleyns in Cheltenham ein Patent erhielt, welches

darauf beruhte, daß zur Erzielung einer gesteigerten Lichtausbeute feiner Kohlenstaub auf eine glühende Metall-, vorzugsweise Platinspirale aufgestäubt wurde. Ein Schüler Jobarts, de Changy, und ein anderer Elektrotechniker King in London benutzten wieder Kohlenstäbchen aus Retortenkohle, jedoch mit ebensowenig praktischem Erfolg. Der eine Stromzuführungsdraht war bei ihrer Konstruktion durch die Wandung des evakuierten Glaskörpers geführt, während der andere Kontakt durch Berühren des Kohlenstäbchens mit Quecksilber, in welches die zweite Elektrode in Drahtform eintauchte, hervorgerufen wurde. Im gleichen Jahre 1845 zeigten I. W. Starr in Cincinnati und William Robert Grove elektrische Vakuumlampen. Der letztere, der Erfinder des bekannten Grove-Elementes, beschreibt im „Philosophical Magazine“ III. Serie, Bd. 27, p. 442 einen elektrischen Lichterzeuger, den er nach den mitgeteilten Angaben schon im Jahre 1840 angewendet hat. Derselbe besteht aus einer Platindrahtspirale von einem bestimmten Widerstand, an welcher zur Stromzuführung dicke kupferne Drähte befestigt waren. Bei Anwendung einer genügenden Zahl seiner Elemente konnte er mehrere Stunden lang ein gleichmäßiges Licht erzeugen. Auch dieser Versuch führte selbstredend noch zu keiner brauchbaren Lampe, bis endlich im Jahre 1846 ein Leuchtkörper entstand, der viele Ähnlichkeit mit der heutigen modernen Lampe besaß. Der Erfinder derselben ist Heinrich Göbel, der jetzt allgemein als der wirkliche erste Hersteller einer brauchbaren Kohlenfadenglühlampe gilt. Des geschichtlichen Interesses halber sei hier kurz der bewegte Lebenslauf dieses Mannes mitgeteilt, und zwar sind die Angaben einer Nummer des „Electrical Engineer“ vom Jahre 1893 entnommen. Heinrich Göbel wurde am 20. April 1818 in Springe in der Nähe von Hannover als der Sohn eines befähigten Kaufmannes geboren, der 1820 als Konsul nach New York für eine Reihe von Jahren übersiedelte. Nach der Rückkehr in die alte Heimat besuchte Heinrich Göbel eine gute Schule und trat hierauf bei einem Uhrmacher und geschickten Optiker in die Lehre. Dieser Mann pflanzte dem aufmerksamen Schüler die Liebe zum Beruf ein, wobei Göbel oft Gelegenheit hatte, die Wirkung des elektrischen Stromes kennen zu lernen. Hierauf besuchte er zur weiteren Ausbildung das Polytechnikum in Hannover. Er beschäftigte sich nun viel mit elektrischen Versuchen und nach Bekanntwerden der

Starr'schen Erfindung auch mit der Herstellung von Glühlampen, ohne jedoch selbst nennenswerte Erfolge zu erringen. Politische Gründe trieben Göbel in den wirren Zeiten von 1848 wieder nach Amerika, wo er zur Unterhaltung seines Lebens eine kleine Mechanikerwerkstatt gründete und dort in seinen Mußestunden seinen Lieblingsgedanken, ein brauchbares elektrisches Licht herzustellen, nachhing. Im Jahre 1853 stellte er sich eine galvanische Batterie von 80 Zinkkohlenelementen her und erzeugte mit dieser ein glänzendes Bogenlicht, welches er nachts vom Dache seines Hauses erstrahlen ließ. Das Erscheinen dieser hellen, noch nie gesehenen Lichtmenge verursachte bei seinen ungebildeten Nachbarn eine wahre Panik, die die Herbeiholung der Feuerwehr und die Bestrafung Göbels wegen grober Ruhestörung zur Folge hatte. Hierauf unterließ er die für ihn so gefährlichen Experimente und wendete nun seine erfinderischen Fähigkeiten der Konstruktion einer elektrischen Vakuumlampe zu. Hier hatte er anfänglich keine Erfolge, bis er schließlich aus einem Pfeifenrohr herausgeschälte und verkohlte Bambusfasern als Glühkörper verwendete und in luftleer gemachten Fläschchen vermittels einer galvanischen Batterie zum Glühen brachte. Im „Electrical Engineer" wird ferner berichtet von der seltsamen Art, wie er diese Lampen dem staunenden Publikum auf den Straßen New Yorks vorführte. Um sich die bescheidenen Mittel zur Bestreitung der Kosten für seine einfache Lebensweise zu erringen, hatte er sich ein Fernrohr entweder selbst verfertigt oder auf irgendeine Weise beschafft. Durch dieses ließ er an klaren Abenden die Vorübergehenden die Wunder des sternenbedeckten Himmels betrachten und zur Anlockung des Publikums von Zeit zu Zeit mehrere, mit einer Batterie betriebene Glühlampen aufleuchten. Göbel scheint aber die erzielten Erfolge nicht weiter beachtet und zur praktischen Verwertung ausgebeutet zu haben, denn es wurde nichts mehr von neuen Errungenschaften dieses Mannes gehört. Erst viele Jahre später, als die langwierigen Streitigkeiten zwischen Edison einerseits und Sawyer und Man anderseits hin und her wogten und zur Vernichtung vieler Existenzen auszuarten drohten, erinnerte man sich der Vorführung der Göbelschen Glühlampen, der dann auch unumstößlich bewies, daß er schon im Jahre 1854 Lampen mit Kohlenfäden erzeugt hatte. Er soll hierauf in einer der neugegründeten „Incandescent Light"-Gesellschaften für eine Reihe von Jahren als

Betriebstechniker wertvolle Dienste geleistet haben. Göbel starb am 4. Dezember 1893 in New York als der anerkannt erste Erfinder unserer heutigen Kohlenfadenglühlampe.

Im Jahre 1846 benutzten Staite und Greener als lichtspendende Glühkörper ebenfalls Stäbchen aus Retortenkohle. 1847 beschreibt I. W. Draper, New York, in Sillimans Journal (2. Serie) interessante Glühlichtversuche, die er mit durch den elektrischen Strom erhitzten Platindrähten vornahm, während Petrie 1849 vorschlug, an Stelle des Platins das schwerer schmelzbare Iridium anzuwenden. Die kaum nennenswerten Erfolge aller dieser Männer ließen keine brauchbare Glühlampe entstehen und entmutigten die damalige Technik derart, daß wieder für eine lange Reihe von Jahren ein absoluter Stillstand in diesen Bestrebungen eintrat. Nachdem 1852 Roberts dünne Graphitblättchen als Leiter benutzt hatte, erhielt erst im Jahre 1858 de Changy, der, wie schon mitgeteilt, sich früher mit der Herstellung von Glühlampen aus Kohlenstäbchen beschäftigt hatte, ein Patent auf eine Glühlampe aus Platindraht, in welchem gleichzeitig eine Teilung des Lichtes vorgeschlagen wird. Diese Erfindung trifft zeitlich merkwürdigerweise zusammen mit einer Nachricht aus dem Anfang des Jahres 1859, von der Professor Moses G. Farmer im Jahre 1878 im „Salem Observer“ folgendes berichtet: Einige Bürger der Stadt Salem (Mass., Nordamerika), darunter Major Williams, erinnern sich deutlich, daß ein Zimmer der Pearlstreet Nr. 11 jeden Abend des Monats Juli 1859 durch elektrische Lampen erleuchtet und daß zur Teilung des elektrischen Stromes ein besonderes System angewendet wurde. Einige geringe Erfolge hatte Du Moncel, der bei seinen Versuchen mit dem Ruhmkorffschen Induktionsapparat kleine Stückchen Kohle zur Weißglut erhitzte und so für kurze Zeit ein blendendes elektrisches Licht erhielt. 1873 beschäftigte sich Lodyguine, der, wie in „La lumière électrique“ T. XXXV p. 378 erwähnt wird, später auch Erfolge bei der Verbesserung der Lichtemissionsfähigkeit der Kohlenfäden mit Hilfe von Borfluorid zu verzeichnen hatte, mit der Herstellung von Kohlenglühlampen, deren Kohlenstäbchen dort, wo sie zur Weißglut gebracht werden sollten, entsprechend im Durchmesser verringert waren. Ehe der Verfasser die weitere Entwicklung der Glühlampe behandelt, möchte er auf eine wichtige Erfindung hinweisen, die eng mit der erfolgreichen Laufbahn der Glühlampe verbunden ist. Selbstverständlich hätte nun

und nimmermehr die elektrische Glühlampe die ausgedehnte und verschiedenartige Anwendungsweise gefunden, wenn nicht die Konstruktion einer selbsttätig elektrischen Strom liefernden Maschine, der Dynamomaschine, erfolgt wäre. Es ist wohl klar einzusehen, daß bei dem Betrieb mit Elementen die praktische Anwendung und Verbreitung nur in recht mäßigen Grenzen geblieben wäre. Nachdem aber ein Weg gefunden war zur billigen und gleichmäßigen Erzeugung des zum Betriebe der Glühlampen notwendigen elektrischen Stromes, machten auch die Errungenschaften zur Herstellung derselben recht schnelle Fortschritte. Es ist wohl deshalb angebracht, auch hier einen kurzen Blick auf die Entwicklungsgeschichte der Dynamomaschinen zu werfen; denn in dem Moment, wo die Dynamomaschine den Beweis ihrer schaffenden Kraft erbracht hatte, können wir einen großartigen Aufschwung der Glühlampe wahrnehmen. Am 6. November 1866 beschreibt Moses G. Farmer in einem Brief an Henry Wilde in Manchester einen Weg, um mittels einer selbsterregenden Maschine dauernd elektrischen Strom zu erzeugen. Im selben Jahre, kurz darauf, führt Werner Siemens vor einer geladenen Gesellschaft Berliner Physiker eine kleine Dynamomaschine vor, während am 24. Dezember gleichen Jahres S. Alfred Vorley in London Patente auf verschiedene Ausführungen derartiger Maschinen nimmt. Am 17. Januar 1867 konnte Werner Siemens weitere Verbesserungen seiner ersten Maschinen zeigen, welche im Februar darauf in Poggendorfs Annalen der Chemie und Physik eingehend beschrieben werden. Professor Charles Wheatstone, dessen Name in der Elektrotechnik ein berühmter geworden ist, legt am 14. Februar 1867 der Royal Society in London eine bedeutende Erfindung auf diesem Gebiet vor, während einige Jahre später, am 11. April 1870, der französische Physiker Gramme ein Patent erhält auf eine Dynamomaschine zur Erzeugung von Gleichstrom. Ein nach diesem Patent konstruiertes Exemplar wurde im Juli 1871 in der „Académie des Sciences“ in Paris vorgeführt und fand wegen seines ruhigen und sicheren Arbeitens den ungeteilten Beifall aller Anwesenden. Von diesem Zeitpunkt an jagen sich nun die Erfindungen, und es werden mit Hilfe der bedeutendsten damaligen Physiker viele Verbesserungen geschaffen, die schließlich zu unserer modernen Dynamomaschine führten. Von diesem Zeitpunkt ab werden aber auch die größten Bemühungen gemacht, eine wirklich

brauchbare Glühlampe zu schaffen, da nun die Gelegenheit gegeben war, dieselbe in großem Maßstabe zu verwenden. Von da datieren auch die Erfolge, mit einer Maschine möglichst viele Lampen betreiben zu können, also eine Lichtteilung vorzunehmen, nachdem schon früher Quirini und Deleul ähnliches ohne Erfolg versucht hatten. Einen wirklichen praktischen Erfolg hatte erst Le Roux 1873 zu verzeichnen, und M. G. Farmer gelang es 1875, mit einer Maschine 42 Lampen zu speisen. Am 18. Oktober 1878 schreibt Farmer selbst im „Salem Observer“: „In the year 1875 I subdivided an electric current into forty-two different branches, putting a light into each branch. All these lamps were supplied with electricity from one machine, which did not weigh more than eight hundred pounds, and which was driven by a small steam engine“. Obwohl dieses Resultat für die heutigen Verhältnisse noch ein recht mäßiges war, machte diese Erfindung damals gewaltiges Aufsehen. Heute ist dies selbstverständlich, wenngleich erst nach 1880 weitere Verbesserungen in der Lichtteilung eingetreten sind.

Nach diesen notwendigen Abschweifungen kehren wir zur eigentlichen geschichtlichen Entwicklung der Glühlampe zurück. Die hauptsächlichsten Erfindungen, die nach langen Mühen nun schließlich mit dem gewünschten Erfolg gekrönt werden sollten, wurden in den Jahren 1877—1882 gemacht, und zwar von Männern, die sich in der Glühlampentechnik einen berühmten Namen gemacht haben. Als deren hauptsächlichste Vertreter seien hier genannt: Edison, Maxim, Sawyer, Man, Swan und Lane-Fox. Außerordentlich interessante Berichte über diese für die Glühlampentechnik bewegte Zeit finden wir in dem Werk von Franklin Leonard Pope: „Evolution of the electric Incandescent Lamp“, welches im Jahre 1889 in Elizabeth, N. Y., erschien. Der Verfasser dieses Buches war in jenen Tagen in engster Fühlung mit den beteiligten technischen Kreisen und beschreibt in authentischer Weise mit Zuhilfenahme der betreffenden Zeitungsberichte und der damaligen Patentliteratur die damaligen Errungenschaften und die erbitterten Kämpfe, die zwischen den Erfindern entbrannten. Jedem, der Näheres über diese für jeden Gebildeten hochinteressante Zeit zu erfahren wünscht, sei das Studium des erwähnten Buches angelegentlichst empfohlen. Auch der Verfasser des vorliegenden Buches konnte nicht umhin, einiges daraus zu benutzen, zumal da die sonstigen Quellen recht

spärlich sind, um daraus zum Nutzen des Lesers schöpfen zu können.

Obwohl der höhere Widerstand der Kohle diesen Körper am geeignetsten erscheinen ließ, als Glühkörper in einer Vakuumlampe verwendet zu werden, gab es damals noch manchen, der im Platin und seinen Begleitern, wie z. B. Iridium, ebenso wie in den Legierungen dieser Metalle, den Körper sah, der einzig und allein eine brauchbare Lampe liefern konnte. So reichte noch Hiram S. Maxim im November 1877 ein Patent ein für eine Lampe mit Platindraht in Verbindung mit einem Wärmeregulator. Der Mann, der wohl am zähesten am Platin hing, war Thomas Alva Edison, der berühmte Gelehrte von Menlo-Park. Es war ihm für lange Zeit nicht möglich, sich von dem Gedanken frei zu machen, Platin zu verwenden, bis er schließlich eines besseren belehrt wurde. Noch im November erklärte er auf eine Anfrage des New York Herald, daß er nicht daran denke, Kohle zu verwenden, da er nach mannigfachen Versuchen zur Ansicht gekommen sei, daß Kohle für diese Zwecke wertlos ist („I use no carbon“). Er konstruierte eine Lampe, bei welcher 30 Fuß (engl.) Platindraht von 0,005 Zoll (engl.) Durchmesser um einen Kalkzylinder gewickelt war, die er dann wirklich Interessenten vorführte. Er erreichte hierbei einen Widerstand heiß von 750 Ohm. Er vermochte dadurch in der Welt eine humoristisch anmutende Wirkung hervorzurufen. Durch die Bekanntmachung einiger schreierischer Zeitungen, daß bei Anwendung der Edisonschen Erfindung der Erzeugungspreis des Lichtes nur etwa ein Drittel von dem des Gaslichtes betragen würde, entstand an den Börsen der ganzen Welt, vorzugsweise an der Londoner, eine förmliche Panik. Die Aktien der großen Gasgesellschaften fielen in ganz unglaublicher Weise, um 20 — 30 %, und die beteiligten Kreise schienen förmlich den Kopf verloren zu haben. In diese Zeit fiel auch die erste Gründung der „Edison Electric Light Company“, welche am 17. Oktober 1878 mit einem Kapital von 6 Millionen Mark ins Leben trat. Mit welcher Zuversicht Edison selbst von dem Erfolg dieser Lampe überzeugt war, läßt sich aus folgender Tatsache entnehmen. Im Sommer 1879 hielt er den gesamten Platinvorrat der Welt nicht für genügend, um eine vollkommen ausreichende Fabrikation zu ermöglichen. Gleichzeitig vermutete er, daß der damals an und für sich mäßige Preis des Platins infolge der ungeheuren

Nachfrage bald ins Ungemessene steigen und so einem gedeihlichen Entwickeln der Glühlampenfabrikation ein unüberwindliches Hemmnis entgegensetzen würde. Er suchte deshalb noch einen geeigneten Ersatz für dieses Metall, fand aber kein brauchbares, welches in unbegrenzten Mengen beschafft werden konnte. Um sich aus dieser Klemme zu ziehen, sandte er eine Anzahl kundiger Fachleute nach Kalifornien, Mexiko und Südamerika aus, mit dem Befehl, alle Anstrengungen zu machen, ergiebige Platingruben auszukundschaften. Es sollten keine Kosten gescheut werden, selbst wenn es notwendig sei, das Innere der Erde zu durchwühlen. Man sieht also, der Optimismus hatte Edison gepackt, wie kaum einen zweiten Erfinder. Zu diesem Zeitpunkt verpflichtete sich Edison einen tüchtigen Elektrophysiker und Mathematiker, Francis R. Upton, der nach Vollendung seines Studiums zuerst im physikalischen Laboratorium von Brackett und hierauf bei Hermann v. Helmholtz seine Kenntnisse bereicherte. Dies geschah am 15. November 1878, und bald darauf war Edison überzeugt, daß nur Drähte mit hohem Widerstand geeignet seien, eine praktische Anwendung der Glühlampe zu ermöglichen.

Auch St. George Lane-Fox teilte die Ansicht Edisons in bezug auf Verwendbarkeit des Platins und erhielt am 9. Oktober 1878 ein Patent auf eine Lampe mit hohem Widerstand, deren Glühkörper aus dünnen Platin- und Iridiumdrähten bestand.

Von vornherein angezweifelt wurde die Brauchbarkeit dieser Metalle von einem anderen Forscher jener Tage, und zwar von William Edward Sawyer. Sawyer, geboren in New Hampshire, war anfänglich als Telegraphist tätig und wurde durch diesen Beruf in die Geheimnisse der Elektrizität eingeweiht. Als außerordentlich tüchtiger und findiger Kopf verfolgte er die epochemachenden Arbeiten anderer, lernte daraus vieles und nahm schon am 21. August 1877 ein Patent, um in einen Stromkreis mehrere Lampen einschalten zu können. Hierdurch wurde ein Brooklyner Rechtsanwalt, Alban Man, auf ihn aufmerksam, suchte seine Bekanntschaft und verbrachte seine freie Zeit damit, Sawyer in dessen Werkstatt Gesellschaft zu leisten. Bald erwachte in ihm ein so großes Interesse an diesen Arbeiten, daß er sich mit Sawyer zur gemeinschaftlichen Fortsetzung dieser Versuche verband. Sie arbeiteten nun mit verdoppeltem Eifer, prüften die bisher entstandenen

Glühlampen kritisch auf ihre Verwendbarkeit und erkannten, daß nur Kohle allein einen Nutzen versprechen konnte. Sawyer schreibt selbst in einem Brief an den New York Commercial Adviser: „A year before Mr. Edison thought of it, I had a lamps using platinum, and operating on this principle, but the cost of heating platinum is so much greater than the cost of heating carbon, that I cast it aside as utterly worthless." So entstand das Patent beider, Nr. 205 144 zur Herstellung von Vakuumglühlampen mit Leitern aus Kohle. Ihre Erfindungen blieben von der Finanzwelt nicht unbeachtet, denn am 8. Juli 1878 gründeten sie die „Electro-Dynamic Light Company" in New York, deren Aufgabe es war, in bester und billigster Weise die Beleuchtung von Straßen, Plätzen und Gebäuden durchzuführen und gleichzeitig die dazu notwendigen stromliefernden Maschinen herzustellen. Die von ihnen erzeugten Lampen konnten schon am 21. Oktober 1878 öffentlich vorgeführt werden. Diese Lampen waren freilich noch sehr schlecht, und deshalb glaubte Edison noch nicht recht an Glühkörper aus Kohle. Sein Assistent jedoch, der schon erwähnte Upton, betrachtete die ganze Sachlage doch mit ganz anderen Augen; er scheint der gewesen zu sein, der an Hand sorgfältig ausgeführter Parallelexperimente endlich Edison von der Unbrauchbarkeit des Platins überzeugt hat. Leicht ist es Upton anscheinend nicht geworden, Edison vollständig zu überzeugen; denn erst am 22. Oktober 1879 stellt Edison die erste brauchbare Lampe mit einem Glühkörper aus verkohltem Papier her, nachdem es gelungen war, eine gut arbeitende Luftpumpe zum Evakuieren der Lampen in Anwendung zu bringen. Immer mehr überzeugt, daß er nun den richtigen Weg beschritten hat, reicht Edison Patente ein auf Lampen mit Kohlenfäden mit hohem Widerstand und sucht am 11. Dezember 1879 ein Patent nach auf eine Lampe mit Papierkohle, die aus sogenanntem „Bristolcarton" hergestellt war. Nach dem damaligen Berichten zu urteilen, wurden außer diesem Körper noch andere verwendet, so z. B. verkohltes Holz, Stroh und Baumwollenfäden. Trotzdem schon früher oft Lampen mit Kohlenglühkörpern konstruiert worden waren, konnte sich die damalige Laienwelt, die allgemein nur die Verwendbarkeit des Platins kannte, kein rechtes Bild von dieser Tatsache machen. In einer überschwenglichen Lobhudelei des New York Herald vom 21. Dezember 1879 wird folgende ergötzliche Belehrung des Publikums gegeben: „But

paper instantly burns, even under the trifling heat of a tallow candle!“ exclaims the sceptic, „and how, then, can it withstand the fierce heat of an electric current?“ „Very true, but Edison makes the little piece of paper more infusible than platinum, more durable than granite.“ Der Erfolg dieser sich nur als riesenhafte Reklame darstellenden Publikationen jener Zeitungen war der, daß eine zweite Gesellschaft, die „Edison Electric Illuminating Company“, im Januar 1880 mit einem kolossalen Kapital gegründet werden konnte. Im Februar desselben Jahres berichtet der Assistent Edisons, Upton, in „Scribners Monthly“ p. 536—538 eingehend über die erwähnten Erfolge, wobei er erklärt: „This lamps is the main discovery of Mr. Edison.“ Als Edison diesen Bericht las, schrieb er an diese Zeitschrift folgende Worte:

„Dear Sir: I have read thy paper by Mr. Francis Upton, and it is the first correct and authoritative account of my invention of the Electric Light.“

Edison sollte später erfahren, daß die Welt anders dachte, denn ungeachtet der Anstrengungen Edisons reichten Sawyer und Man am 9. Januar 1880 ein Patent ein auf eine elektrische Glühlampe mit Brenner aus Papierkohle. Von diesem Zeitpunkt ab datieren die heftigen Kämpfe, die nun entbrannten um die Priorität der Erfindung einer Vakuumlampe mit Kohlenglühkörper. Obwohl am 20. Januar 1882 das amerikanische Patentamt Sawyer und Man als die ersten Erfinder der Lampe bezeichnet, wird später diese Entscheidung annulliert, bis endlich am 8. Oktober 1883 eine endgültige Entscheidung zugunsten Sawyer und Mans ausgesprochen wird. Damit gibt sich jedoch Edison nicht zufrieden. Nachdem ein Versuch Edisons, den Minister des Innern für seine Sache zu gewinnen, fehlgeschlagen ist, beantragt er beim Patentamt, eine Wiederaufnahme des Patentstreites in die Wege zu leiten, jedoch ebenfalls ohne Erfolg; denn am 27. Juni 1885 wird er endgültig abgewiesen.

Auch die Errungenschaften des Präparierens der Kohlenfäden, d. h. das Niederschlagen von graphitartigen Kohlenstoffes aus einer Atmosphäre von Kohlenwasserstoffen auf den glühenden Faden, wollte Edison ausschließlich für sich in Anspruch nehmen. Dieses Präparieren ist jedoch eine unantastbare Erfindung von Sawyer und Man, so daß in einem über diese Frage entbrannten Streit im Mai 1886 der Richter Butt entschied, daß Sawyer und Mans Patent zu Recht bestände.

Auch von seiten Edisons gegen Maxim und Lane-Fox angestrengte Prozesse verliefen resultatlos. So war z. B. Professor G. F. Barker, Philadelphia, der Meinung, daß nicht Edison, sondern neben anderen vorzugsweise Maxim das Verdienst gebührt, die wertvollen Eigenschaften des Präparierens voll und ganz erkannt zu haben. Er schreibt in der „Evening Post" folgendes: „There is no doubt in my mind as to the value of Mr. Maxims remarkable discovery. For years I have been an admirer of Edisons search for the true solution of the electric light problem, and I can testify to his unremitting energy and the exhaustive nature of his search. But another man found it."

Trotzdem der Ausgang aller dieser Streitigkeiten stark vermuten läßt, daß Edison wohl immer erst der zweite Erfinder war, so gebührt ihm entschieden der Ruhm, die Vollendung der Glühlampe ungemein gefördert und ihre Anwendung im praktischen Leben zuerst bewerkstelligt zu haben. Kurz nach der Gründung der „Edison Electric Illuminating Company" wird eine, damals Aufsehen erregende Beleuchtungsanlage auf dem Dampfer „Columbia" mit Edisonlampen eingerichtet, die nach den eigenen Angaben des ersten Ingenieurs Van Duzer vorzüglich funktioniert hat. Von 115 Lampen war nach einer Brenndauer von über 400 Stunden noch keine einzige durchgebrannt. Im November 1880 gründete er die Glühlampenfabrik in Menlo-Park, die 1882 nach East Newark verlegt wurde. Unter seiner tatkräftigen Leitung blühte diese Fabrik sehr rasch empor und erzeugte eine große Menge guter Lampen, die sich einen Weltruf erwarben.

Obgleich Sawyer und Man anfänglich ebenfalls große Anstrengungen machten, ihre Erfindungen in die Praxis umzusetzen, so konnte doch die, wie schon erwähnt, von ihnen gegründete „Electro-Dynamic Light Company" keine Erfolge aufweisen. Dies lag wohl daran, daß Sawyer, unstreitig ein tüchtiger Ingenieur mit ausgezeichneten Kenntnissen, infolge seiner Erfolge und seines persönlichen leichtsinnigen Naturells ein ausschweifendes Leben begann, welches ihn unfähig machte, den auf ihn lastenden Verpflichtungen als Direktor der Gesellschaft nachzukommen und den weiteren Ausbau der Lampe zu leiten. Er verschwendete in unsinnigster Weise große Summen, so daß die Teilhaber der Gesellschaft sich schließlich genötigt sahen, ihn seines Postens zu entheben. Als Sawyer zur Einsicht kam, daß nun Großes für ihn auf

dem Spiele stand, ermannte er sich wieder, gründete die „Eastern Electric Manufacturing Company“, als deren Direktor er in Gemeinschaft mit Man nun recht Ersprießliches leistete.

Bei richtiger Betrachtung aller dieser Verhältnisse wird man zum Schluß kommen, daß es bei der Fülle der damals schnell aufeinanderfolgenden Erfindungen und Verfahren, eine brauchbare elektrische Lampe zu schaffen, nicht leicht ist, die Verdienste der einzelnen auf diesem Gebiete tätigen Männer absolut richtig abzuschätzen. Die bekanntesten Männer jener Zeit, die schöpferisch beim Ausbau der elektrischen Glühlampe mitwirkten, wurden schon genannt, von denen in jüngster Zeit (März 1907) Joseph Wilson Swan von der Londoner Academy of Arts die Albert-Medaille für hervorragende Erfindungen auf dem Gebiet des elektrischen Lichtes erhielt. Wenn auch Edison nicht der Mann ist, der die Erfindung der Kohlenlampe und die großartigen Verbesserungen derselben für sich allein in Anspruch nehmen darf, so ist er doch derjenige, der mit eigener Kraft durch Gründung großer Unternehmungen die Fabrikation der elektrischen Lampen in die Bahnen lenkte, die bestimmend waren für die Entwicklung derselben zur heutigen Vollkommenheit.

III. Die verschiedenen Einschmelzverfahren.

A. Vorbemerkungen.

Bei den sogenannten „Einschmelzungen“ handelt es sich darum, eine absolut luftdichte Verbindung der Stromzuleitungsdrähte, an denen der zum Glühen zu bringende Kohlenfaden befestigt ist, mit dem Lampenkörper herzustellen. Es geschieht dies immer in der Weise, daß man zuerst die Elektroden zur sogenannten Brücke oder Fuß umgestaltet, der dann, nachdem der Kohlenfaden in einer später zu beschreibenden Weise daran befestigt worden ist, nun mit dem Lampenkörper innig verschmolzen wird. Zur Veranschaulichung dieses Vorganges soll die einfache Skizze (Fig. 1 *A*) dienen; *a a* sind die Stromzuführungsdrähte, an denen der Kohlenfaden *b* befestigt ist, und *B* der Glühkörper, der mit der Glasbirne *d* dicht zu einem Ganzen verschmolzen wird.

Hier seien gleich zum besseren Verständnis einige Fachausdrücke gegeben, die in den weiteren Ausführungen häufiger gebraucht werden müssen. In Fig. 1 ist der Glaskörper gezeichnet, der, nachdem er luftleer gepumpt worden ist, eine einfache Art der gebräuchlichsten Glühkörper ergibt.

Der Glaskörper *d*, der die verschiedensten Formen einnehmen kann (siehe Tafel I, S. 83) heißt „Birne“, „Ballon“ oder auch „Glocke“. Zur bequemen Einschmelzung ist dieser Körper mit einer Verengung *e*, dem „Hals“, versehen, während auf der entgegengesetzten Seite zum Entluften oder Evakuieren das „Pumprohr“ oder der „Pumpstengel“ *f* angesetzt ist. Nach erfolgtem Evakuieren wird das Pumprohr an der Verengung *g* abgeschmolzen, wobei die sogenannte „Spitze“ *h* entsteht.

In den Hals der Birne wird nun in geeigneter Weise der Glühfaden mit den Stromzuführungsdrähten eingeführt und mit der Birne luftdicht verschmolzen. Zu diesem Zwecke wird ein Körper *B* hergestellt, der im ganzen mit „Fuß“ oder „Brücke“

bezeichnet wird. In seiner einfachsten Ausführung besteht derselbe aus der Brücke (im engeren Sinne) *i*, welche zur Verschmelzung mit der Birne dient, und dem „Steg“ *h*, der den Zweck hat, den Elektroden einen festen Halt zu geben. Im folgenden werden nun die mannigfaltigsten Formen dieser Brücken beschrieben werden.

Bei diesen Einschmelzungen handelt es sich nun hauptsächlich darum, einen möglichst einfachen und durchführbaren Weg zum absolut dichten und luftundurchlässigen Einschmelzen der Zuleitungsdrähte zu finden. Es kommt also erstens darauf

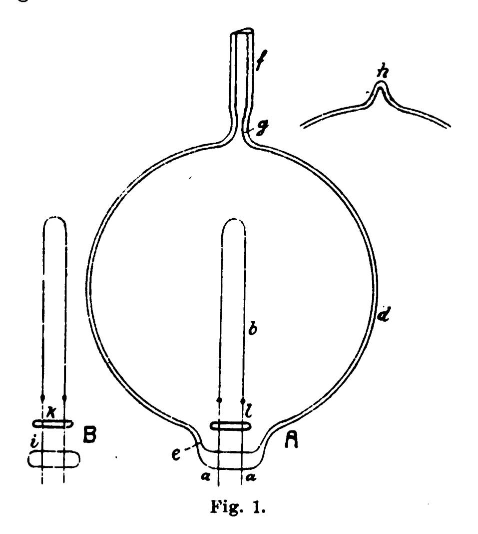


Fig. 1.

an, die Form des zu verwendenden Fußes zweckmäßig zu gestalten, um die Arbeit des Einschmelzens in leichter und sicherer Weise vornehmen zu können, und zweitens ein Material als Stromzuleitungsdraht zu finden, welches ein luftdichtes Einschmelzen ins Glas gestattet. Dies ist nur möglich mit einem Metalldraht, welcher denselben kubischen Ausdehnungskoeffizienten besitzt als das zum Einschmelzen verwendete Glas, welches also nach dem Einschmelzen beim Abkühlen sich in genau demselben Maße zusammenzieht als das ihn umgebende Glas, so daß sich das letztere ohne Blasenbildung absolut dicht und gleichmäßig an den Draht anlagert. Eine weitere Bedingung ist, daß der Draht beim Erhitzen

während des Einschmelzens nicht oxydiert werden kann, keine gasförmigen Bestandteile abgibt und so zum Undichtwerden Veranlassung gibt.

Das einzige Metall, welches im elementaren Zustand diese unbedingt notwendigen Bedingungen erfüllt, ist das Platin, dessen linearer Ausdehnungskoeffizient = 0,00000899, während der des gewöhnlich als Fußmaterial verwendeten Bleiglases oder Thüringer Röhrenglases etwa 0,00000882 beträgt. Aber auch bei diesem Metall sind für das dichte Einschmelzen besondere Vorsichtsmaßregeln zu beobachten und z. B. für sehr dicke Drähte direkt unerläßlich. Platindrähte, die längere Zeit an der Luft gelagert und sich mit Atmosphärilien bedeckt haben, oder die oft durch die Hände gewandert und demnach mit einer Fettschicht umhüllt sind, lassen sich nicht dicht einschmelzen. Beim Erhitzen während des Einschmelzens zersetzen sich die am Draht haftenden organischen Substanzen und entwickeln Gase, die sich nun zwischen Draht und Glas anlagern. Ganz auffällig tritt diese Erscheinung ein, wie schon erwähnt, bei sehr dicken Drähten. Diese Drähte sehen nach dem Einschmelzen nicht mehr blank, sondern graumatt aus. Bei genauer mikroskopischer Untersuchung erweist sich ein derartiger Draht als mit unzähligen kleinen Bläschen bedeckt, die natürlich miteinander in Verbindung stehen und gewissermaßen längs des Drahtes hin einen Kanal bilden. Es ist deshalb anzuempfehlen, die Drähte kurz vor dem Einschmelzen in einer Flamme auszuglühen.

Früher, als der Preis des Platins noch ein verhältnismäßig billiger war (1888 1 kg = 600—800 Mk.), bestand zumeist der ganze Draht *a l* (Fig. 1 *A*) aus Platin, während beim Steigen des Metallpreises auch die Tendenz vorhanden war, die Verwendung des Platins auf die denkbar geringste notwendige Menge einzuschränken. Heute, bei den immens hohen Preisen (1907 1 kg 5400 Mk.), hat man sogar schon einen Ersatz gefunden, der für gewisse Zwecke vollkommen ausreichend ist.

Die Versuche, den Platinverbrauch einzuschränken oder vollkommen Ersatz zu finden, datieren schon aus sehr frühen Zeiten.

So versuchte schon William Crookes im Jahre 1881 [1]) einen Eisendraht mit einem Platinröhrchen zu umgeben, beides zusammen auf einen bestimmten Durchmesser zu ziehen und nun als Durchführungsdrähte zu verwenden.

---

[1]) D.R.P. 20822 vom 27. Oktober 1881.

In ähnlicher Weise glaubt Rudolf Langhans, Berlin[1]), einen brauchbaren Durchführungsdraht erzielt zu haben, indem er einen Kerndraht aus Eisen, Nickel oder Legierungen beider mit Antimon mit einem Platinrohr umgibt oder auf elektrolytischem oder chemischem Wege mit einem dichten Platinniederschlag versieht. Dieser so vorbereitete Draht wird nun auf einer Ziehbank ausgezogen, durch Feuer oder mit elektrischem Strom geschweißt, wobei der Draht bei Vorhandensein eines Niederschlages von schwammigem Platin vor dem Ziehen im schweißwarmen Zustand gehämmert oder gewalzt wird. In ähnlicher Weise stellt Langhans auch platinplattierte Hülsen zum Befestigen der Kohlenfäden her, indem er den beschriebenen Draht in entsprechend große Stückchen schneidet und nun an einer Seite eine genügend große Hülse (etwa 2—3 mm) dadurch erzielt, daß er dort den Kern aus Eisen oder Nickel mit einer Säure weglöst. Ein weiteres Verfahren zur Benutzung von Leitern aus oxydierbaren Metallen zum luftdichten Einschmelzen in Glühlampen ist das von Augustus Charles Hyde in Ealing und Kenneth Raydon Swan in London[2]). Die Erfinder tauchen unedle Metalle in einer Wasserstoffatmosphäre in ein Bad von geschmolzenem Edelmetall oder auch von Legierung derselben, wie z. B. Platinsilberlegierung. Den besten Erfolg hat wohl bis jetzt eine Eisenchrommanganlegierung gehabt, welche von der französischen Firma Société Platinide unter dem Namen Platinid in den Handel gebracht wird, und welches berufen erscheint, das Platin immer mehr und mehr zu verdrängen. Diese Legierung besitzt fast genau denselben Ausdehnungskoeffizienten als das Platin, jedoch sind bei ihrer Verarbeitung einige Sicherheitsmaßregeln anzuwenden, die später an geeigneter Stelle angedeutet werden sollen.

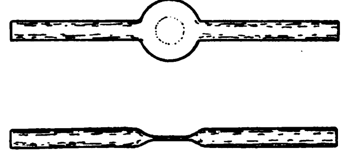


Fig. 2.

Eine eigenartige Verwendung des gewöhnlichen Kupfers als gut luftdicht einzuschmelzendes Material ist folgende: Kupferdraht an und für sich in Glas eingeschmolzen ergibt keine luftdichte Abdichtung. Schlägt man jedoch den Draht (Fig. 2) an einer Stelle möglichst dünn zu einem Blatt aus

[1]) D.R.P. 71361 vom 6. Oktober 1891.
[2]) D.R.P. 170358 vom 14. April 1905.

und schmilzt diese Stelle ein, so ist ein Luftabschluß zu erreichen.

Die Glaswerke Schott und Genossen, Jena [1]), benutzen zur Herstellung von absolut luftdichten Überzügen von Glas auf Eisen- oder Nickeldrähten etwa folgendes Verfahren, welches darauf beruht, jede Oxydation der Unedelmetalldrähte während des Einschmelzens zu verhindern. Über den blanken Draht wird ein Glasröhrchen geschoben und nun zur Verdrängung der Luft ein reduzierendes oder indifferentes Gas (Wasserstoff, Stickstoff usw.) durch das Röhrchen geleitet und hierauf das Röhrchen sauber mit dem Draht verschmolzen. Die so erhaltenen Körper können nun zur Herstellung luftdichter Füße Verwendung finden.

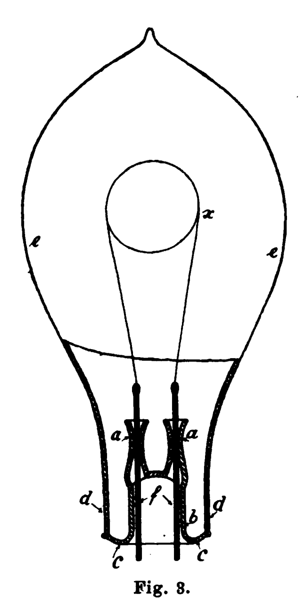


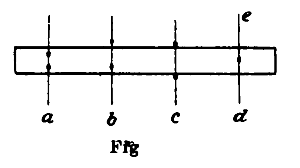
Fig. 3.

Eine der vorhergehenden im Prinzip sehr ähnliche Einschmelzungsart ist der Société anonyme de Commentry, Fourchambeau et Decazeville in Paris [2]), patentiert worden. Verwendet werden zum Einschmelzen von Glühlampenstromzuführungsdrähten aus Eisennickellegierungen aus diesem entweichende Gase in enge den Zutritt der atmosphärischen Luft verhindernde Glasröhrchen. Die Ausführung ist die in Fig. 3 angedeutete: Kleine Glasröhrchen *a a* werden an das eine Ende des tellerartig erweiterten Glasrohres *b* angeschmolzen, welches später mit seiner Erweiterung *c* an den Hals *d* des Ballons *e* angeschmolzen wird. Nachdem dieser Fuß hergestellt worden ist, werden die Stromzuführungsdrähte *f f* aus Nickeleisen in die Röhrchen *a a* eingeführt. Die Röhrchen werden nun an der engsten Stelle erhitzt und die erhitzte Stelle in geeigneter Weise mit einer Zange an die Metalldrähte angepreßt. Hierauf wird der Kohlenfaden *x* an den Elektroden befestigt, der ganze Fuß in den Hals der Birne gebracht und nun an der tellerförmigen Erweiterung *c* mit der Birne verschmolzen. Andere

[1]) D.R.P. 107442 vom 12. Februar 1899.
[2]) D.R.P. 124262 vom 19. Oktober 1899.

Methoden, das Platin als Einschmelzungsmetall zu ersetzen, zielen darauf hin, direkt unedle Metalldrähte ohne jede weitere Vorsicht zu verwenden und eine sichere Abdichtung durch Auftragen oder Aufschmelzen eines Kittes auf die Durchgangsstellen zu erreichen. So verwendet z. B. Joseph Vincent Nichols, Brooklyn [1]), als dichtenden Schmelzkitt ein Gemisch von 58 % Bleioxyd, 17 % Kieselsäure, 10 % Eisenoxyd, 10 % Kupferoxyd und 5 % Pottasche oder Soda. Nach dem Verfahren von Harry Hogge und Jean Barollier, Paris [2]), werden durch den zu verwendenden Fuß zwei Kanäle geführt, durch die dann ohne Anwendung von Wärme zylindrische Zuleitungsdrähte aus unedlem Metall mit annähernd gleichem Querschnitt eingeführt und die Einführungsstellen mit einem dichten geeigneten Kitt verschlossen werden.

Im allgemeinen sind diese Versuche, das Platin zu ersetzen, mit einer einzigen Ausnahme, nämlich der Verwendung des Platinids, eben Versuche geblieben, und heute werden trotz des immensen Platinpreises fast sämtliche Stromdurchführungen aus diesem Metall hergestellt. Selbstredend war es, den Verbrauch auf das Minimum zu reduzieren, so daß man heute fast ausschließlich das Edisonpatent benutzt, bei welchem man ein nur etwa 4—5 mm langes Platindrähtchen anwendet, dessen Lötstellen an Kupferdraht mit im Glas liegen. Hierbei tritt außer der Verkürzung des Platindrähtchens eine weitere Ersparnis insofern ein, daß man das rings von Glas umgebene Drähtchen mit einer höheren Stromstärke belasten kann als im freiliegenden Zustand, ohne daß eine schädliche, allzu hohe Erwärmung des Drahtes eintritt. Durch die starken angelöteten Nickel- und Kupferdrähte tritt eben eine starke Wärmeableitung ein, so daß der dünne Platindraht nicht in zu hohem Maße erhitzt wird. Bei dieser Anordnung, die in Fig. 4*a* veranschaulicht ist, wird neben der Länge des Drahtes also auch sein Querschnitt bis zu einem gewissen möglichen Grade verringert.



Fig

Dieses Verfahren nun ist patentiert, so daß bald, um gleiche Vorteile erreichen zu können, andere ähnliche Verfahren in Anwendung kamen. Diese stellen sich mehr oder

[1]) D.R.P. 15021 vom 18. Januar 1881.
[2]) D.R.P. 157370 vom 5. März 1903.

weniger als geschickte Umgehungen des Edisonpatentes dar. Die Anordnung in *b* ist derart getroffen, daß die eine Lötstelle im Glas, die zweite dicht außerhalb der Einschmelzstellen sich befinden. Bei *c* liegen beide Lötstellen dicht außerhalb des Glases und *d* zeigt uns eine Methode, bei welcher die Lötstelle zwischen Zuleitungsdraht *d* Platin im Glas liegt, während hier ein Anlöten der Nickelelektroden unnötig ist, da bei *e* der Kohlenfaden direkt am Platindraht angekittet wird.

Schließlich seien noch die Versuche erwähnt, zum luftdichten Einschmelzen unedler Metalldrähte bestimmte Glassorten anzuwenden, deren Ausdehnungskoeffizienten dem des Metalles angepaßt wurden. Diese Versuche können aber als gescheitert angesehen werden, nicht weil es unmöglich ist, ein derartiges Glas herzustellen, sondern weil beim Einschmelzen mit der heißen Flamme die Metalldrähte oberflächlich oxydiert oder verbrannt werden und nun die gebildeten Oxyde wesentlich andere Eigenschaften zeigen in bezug auf Ausdehnungskoeffizienten usw. als das reine Metall.

In den Anfangszeiten der Glühlampenfabrikation wurden ausschließlich zur eigentlichen Einschmelzung, d. h. zum luftdichten Umhüllen des Platindrahtes mit Glas, Bleiglassorten verwendet, die vom Glühlampentechniker als „platingut" bezeichnet wurden. Heute jedoch verwendet man mit einigen Ausnahmefällen nur noch das gewöhnliche Thüringer Röhrenglas.

Was die Einschmelzarten selbst anbelangt, so sind dieselben außerordentlich zahlreich, und richten sich die Formen der Füße zumeist nach der Größe und Form der verwendeten Glasbirnen. Jede Fabrik hat ihr eigenes System, welches im Laufe der Jahre die verschiedensten Verbesserungen und Abänderungen erfuhr. Obgleich die Aufzählung der verschiedenen Arten ein für den Techniker äußerst interessantes Bild ergibt, so ist der Verfasser doch gezwungen, nur eine Auswahl derselben hier zu beschreiben, da eine vollständige Aufführung weit den Rahmen des Buches überschreiten würde und heute für die gewöhnlichen Lampentypen fast allgemein nur noch das amerikanische Tellerfußsystem verwendet wird. Dieses System, welches später ausführlich mit allen maschinellen Einrichtungen beschrieben wird, ist ausgezeichnet durch außerordentlich hoch gesteigerte Leistungsfähigkeit und Sauberkeit der Ausführung, während nach den älteren Methoden die Einschmelzung mit der Hand von geübten Glasbläsern erfolgte, die sehr viel Zeit und große Geschicklichkeit erforderte.

B. Einschmelzverfahren für die gewöhnlichen Lampentypen.

1. Brücken- oder Knopffußsysteme.

Eine der ältesten Einschmelzungen, die schon im Jahre 1878, also ganz im Anfang der fabrikmäßigen Herstellung von elektrischen Glühlampen, in Anwendung war, ist die der Swangesellschaft in London. Die Herstellung ist folgende, wie sie in Fig. 5, *a*—*k* angegeben ist.

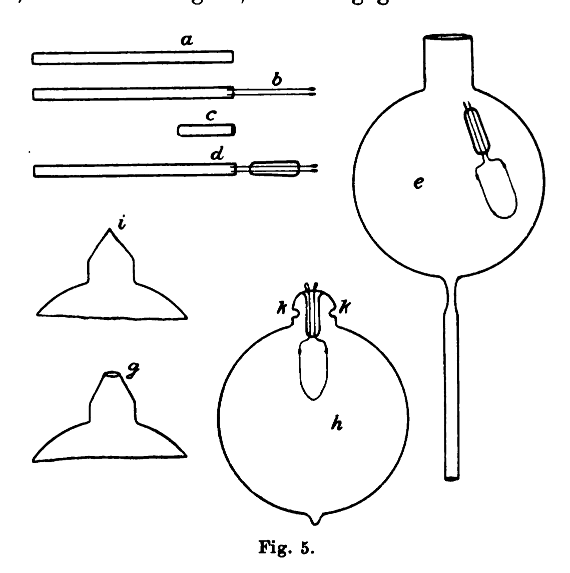


Fig. 5.

a ist ein Glasstäbchen, an welches die beiden Platindrähte *b* leicht angesetzt werden. Über diese Drähte wird ein Röhrchen aus leicht mit Platin verschmelzbarem Glas geschoben (*c*), welches nun gut mit den Elektroden verschmolzen wird (*d*). Die Elektroden werden nun von dem Glasstab *a* gelöst und der Kohlenfaden angekittet. Hierauf wird dieser in die Birne gebracht (*e*) und der Hals der Birne bei *i* abgezogen (*f*), d. h. zugeschmolzen und zur Spitze ausgezogen. Die Spitze wird mit der Gebläseflamme heiß gemacht, aufgeblasen (*g*), so daß ein genügend großes Loch zur Aufnahme des Fußes entsteht und schließlich, nachdem man den Fuß in

das Loch hat fallen lassen, das Ganze sauber verschmolzen (*h*). Um beim Anbringen der Sockel den Gips recht festhalten zu lassen, werden noch zwei Vertiefungen (*k*) in den heißen Hals mit einer Pinzette eingedrückt. Die vorstehenden Drähte werden zur Öse umgebogen und die Enden in das Glas eingedrückt.

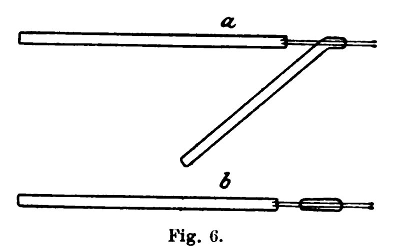


Fig. 6.

Eine kleine Verbesserung dieser Einschmelzung zeigt Fig. 6. Um das Aufschieben und Verschmelzen des Glasröhrchens (Fig. 5, *c* und *d*) zu vermeiden, wird ein Stäbchen aus gleichem Glas zum Schmelzen gebracht und das geschmolzene Glas um die Elektroden gewickelt (*a* und *b*).

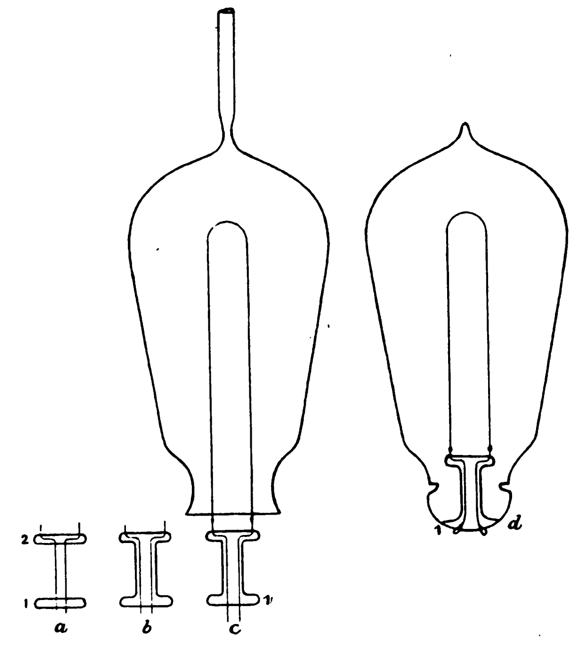


Fig. 7.

Da es sich herausstellte, daß für feine und daher leicht zerbrechliche Kohlenfäden diese Einschmelzung ohne viel Verlust nicht anwendbar war, änderte Siemens & Halske dieselbe in der Fig. 7 angedeuteten Weise ab. Die Platinelektroden werden (*a*) bei *1* und *2* mit einer Scheibe aus platingutem Glas umgeben und hierauf mit demselben Glas eine Verbindung durch Umwickeln mit dem gleichen Bleiglas zwischen beiden Scheiben hergestellt (*b*). Nach dem Aufsetzen

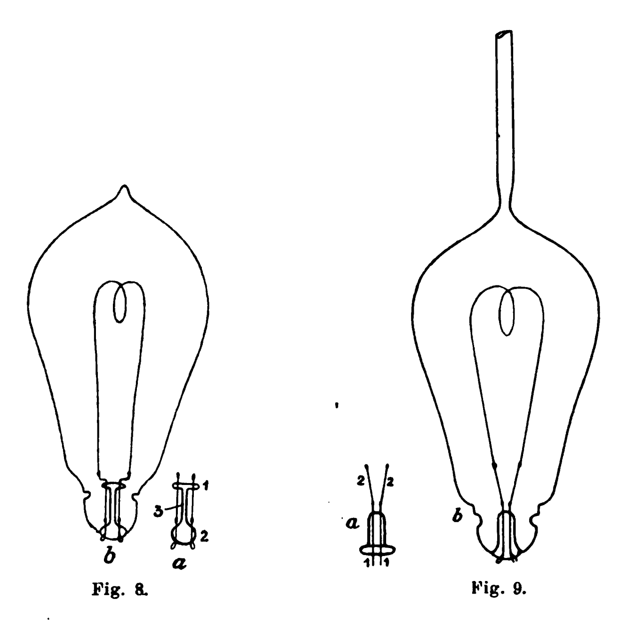


Fig. 8. Fig. 9.

der Kohle wird der Fuß in die Glasbirne eingeführt (*c*) und die Glasscheibe *1* gut mit dem Ballon verschmolzen (*d*).

Eine ganz geringe Abänderung zeigt die Einschmelzung von Frémery, Lyon (Fig. 8), bei welcher ebenfalls die Platinelektroden mit dem Teller *1* (*a*) und der Glasperle *2* umwickelt werden, die dann innerhalb der Drähte mit dem Steg *3* verbunden sind. Einschmelzung ist aus *b* ersichtlich.

Eine ähnliche Form der Einschmelzung, die später bei der rapiden Steigerung der Platinpreise in Verwendung kam, zeigt Fig. 9. *a* ist der Fuß, dessen Platindrähte (*1*) mit Glas umwickelt und an welche die beiden Nickeldrähte (*2*) angelötet

sind. Die Einschmelzung selbst ist in *b* dargestellt. Gebrüder Pintsch, Fürstenwalde, wendeten ein ähnliches System (Fig. 10) an, mit der Abänderung, daß sie auf die Platindrähte (*1*) eine massive Glasperle (*3*) aufschmelzen und die Nickeldrähte (*2*) mit einem entwickelten Steg (*4*) aus Glas stabiler gegen Verbiegen machen. Die Einschmelzung (*b*) hat einen ähnlichen Charakter als die vorhergehende.

Ein anderes Einschmelzverfahren der Elektrischen Glühlampenfabrik „Watt" in Wien aus dem Jahre 1894

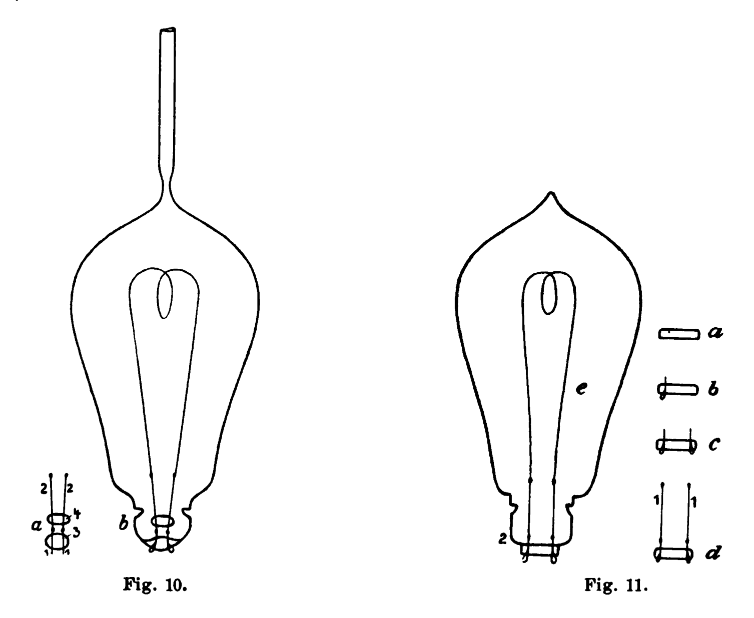


Fig. 10. Fig. 11.

veranschaulicht Fig. 11. Die Glasbrücke *a* wird mit ösenförmigen Platindrähtchen (*b* und *c*) versehen, an welche dann die Nickeldrähte *1* (*d*) angelötet werden. Nach der Befestigung des Kohlenfadens wird der Fuß in der bei *e* gezeigten Weise in die Birne eingeschmolzen, zu welchem Zweck die Öffnung *2* schlitzförmig gestaltet wird.

Eine Verbesserung derselben Fabrik aus dem Jahre 1895 zeigt Fig. 12. Um die Ösen vor dem Abbrechen zu schützen, werden nach dem Einschmelzen noch die beiden Glasfüßchen *a a* aufgeschmolzen.

Um bei etwaigem Abbrechen der angelöteten Stromzuführungsdrähte aus Kupfer eine Reparatur zu ermöglichen, wurde dieses Einschmelzsystem, welches im übrigen sonst genau wie die vorhergehenden ausgeführt wurde, im Jahre 1896 abermals verbessert (Fig. 13). Die Brücke *a* wird nicht mit Platinösen hergestellt, sondern mit kurzen Platindrähten (*1*), an die die Nickelelektroden angelötet waren. Nach dem Einschmelzen der Brücke in die Glasbirne wurden an den hervorstehenden Platinenden L-förmig gebogene Kupferdrähte (*2*) derart angelötet, daß ein langes und ein kurzes Ende von der Lötstelle abzweigen (*b* und *c*). Das Ganze wird nun durch

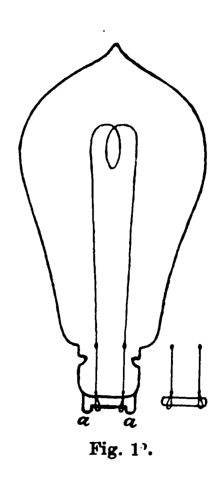


Fig. 12.

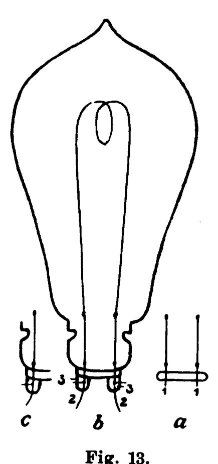


Fig. 13.

Aufschmelzen der Glasperlen *3* (*c*) möglichst gegen Abbrechen gesichert. Kommt es nun vor, daß der längere Stromzuführungsdraht abbricht, so kann nun an den kürzeren, zur Reserve dienenenden Draht ein neuer angelötet werden.

Ein ungefähr gleiches Einschmelzsystem, bei welchem die Brücke überflüssig war, benutzte im Jahre 1895 die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin (Fig. 14). An die Platinöse *1* (*a*) wurde der Nickeldraht *2* angelötet und hierauf der Kohlenfaden angekittet (*b*). Dieser erhaltene Körper wurde nun in die Birne eingeschmolzen und hierauf die beiden Glasperlen *3* (*c*) aufgesetzt.

Da infolge des Fehlens der Brücke sehr leicht Verbiegungen der Elektroden vorkamen und dadurch ein un-

korrektes Stehen des Kohlenfadens in der Lampe verursacht wurde, verbesserte die Wiener Fabrik „Watt“ dieses Verfahren insofern, daß durch Aufschmelzen der Glasröhrchen *a* (Fig. 15) über der Lötstelle zwischen Platin und Nickel ein sicherer Halt gegeben wurde.

Denselben Zweck verfolgt das Einschmelzsystem der Glühlampenfabrik J o h. K r e m e n e t z k y, Wien, vom Jahre 1890 bis 1896 (Fig. 16). Die Platinelektroden wurden mit Bleiglas in der in *a* angedeuteten Weise umwickelt und dann bei *1* hufeisenförmig zusammengeschmolzen (*b*). Die Einschmelzung (*c*)

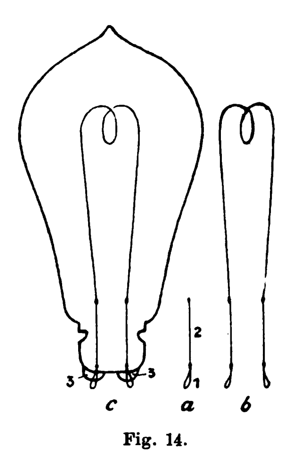


Fig. 14.

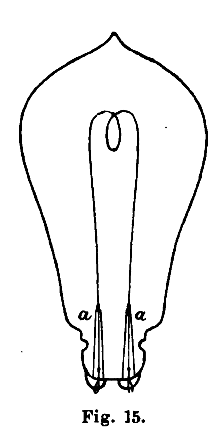


Fig. 15.

erfolgte in der damals üblichen Weise, wobei auch zum Schutze gegen das Abbrechen der Ösen Glasperlen (*2*) aufgeschmolzen wurden.

Eine Einschmelzung der Firma S t r e h l e n e r t, Stockholm, aus den Jahren 1891—92 zeigt uns Fig. 17. Diese Einschmelzung ist in mehrfaher Hinsicht interessant. Hier werden die kupfernen Stromzuleitungsdrähte *1* (*a*) direkt vor der Einschmelzung mit dem Platin *2* verlötet, welches wiederum mit dem Nickeldraht *3* verbunden ist, während bei den bisher beschriebenen Methoden Platinösen zur Verwendung kamen, an denen dann erst nach erfolgter Einschmelzung die Stromzuleitungsdrähte angelötet wurden. Die erfolgte Einschmelzung ist aus Fig. *b* ersichtlich. Um die Einbuchtungen *4* herzustellen, wurden in das heiße Glas mit einer entsprechend

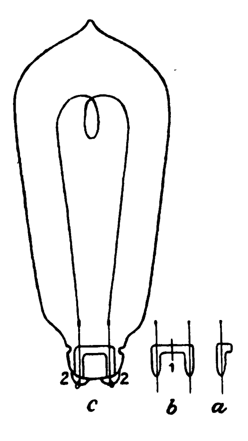


Fig. 16.

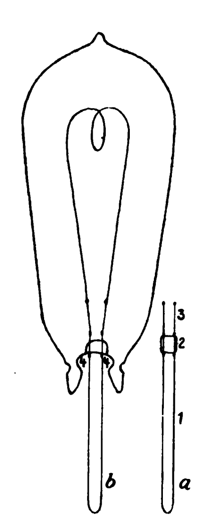


Fig. 17.

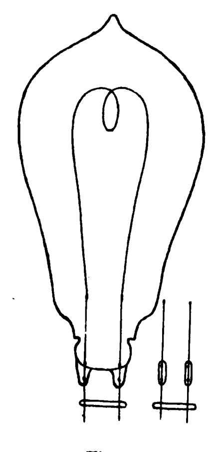
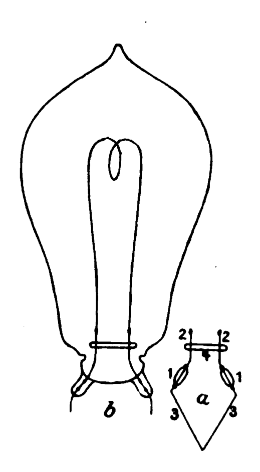


Fig. 18.



geformten Pinzette Eindrücke gemacht, die nach dem Erkalten mit Gips ausgefüllt wurden, um ein Abbrechen der Zuleitungsdrähte möglichst zu verhindern.

Die Wiener Glühlampenfabrik „Watt" glaubte einen Schutz gegen Abbrechen der Kupferdrähte (Fig. 18) dadurch zu erreichen, daß sie den Glassteg außerhalb der Lampenglocke anbringt, der gleichzeitig beim Befestigen des Sockels dem verwendeten Gips einen festen Halt gibt.

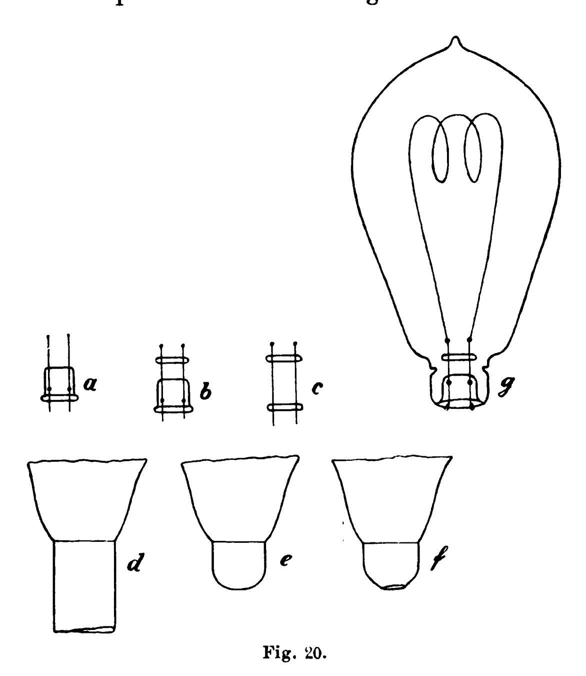


Fig. 20.

Eine weitere Verbesserung, die die Glühlampenfabrik „Watt", Wien, im Jahre 1897 einführte, ist in Fig. 19 dargestellt. Bisher wurden bei sämtlichen bisher beschriebenen Systemen nach erfolgter Verschmelzung noch seitliche Eindrücke gemacht, die den Zweck verfolgten, ein sicheres Angypsen der Sockel zu ermöglichen. Bei diesem Verfahren nun sind diese Eindrücke überflüssig geworden. Die Platinelektroden (*a*), *1*, welche mit den kupfernen Zuleitungsdrähten *3* und den Nickelelektroden *4* verbunden sind, werden mit

Bleiglas in Perlenform umwickelt, während die Nickelelektroden noch mit dem Steg *4* verbunden sind. Hierauf wird der ganze Fuß in der angegebenen Weise gebogen und eingeschmolzen (*b*). Durch das schräge Stehen der Perlen *1* erübrigten sich die üblichen Eindrücke.

Schließlich sei noch die sogenannte Deutsche Einschmelzung erwähnt, die vor Einführung des amerikanischen Quetschsystems sehr ausgedehnte Anwendung fand. Verwendet wurden als Elektroden Platindrähte allein (Fig. 20) oder auch Platindrähte, an die Nickelelektroden angelötet waren. Diese Drähte wurden nun mit Brücken aus Bleiglas versehen in der mannigfaltigsten Weise (*a*, *b*, *c*). Die Glasbirne wurde nun abgezogen, der Hals erweitert, der Fuß mit der Kohle hineingegeben, die Birne zugeschmolzen und an der Einschmelzstelle dünn ausgeblasen (*d* u. *e*). Hierauf ließ man den Fuß herunterfallen, so daß er die dünne Glaswand durchbrach (*f*) und nun sauber verschmolzen wurde. Hiermit sei die Auswahl der sogenannten Brückeneinschmelzsysteme erledigt, von denen nur noch einige für besondere Zwecke hier und da noch angewendet werden.

Wir wenden uns nun zu einer anderen von den bisherigen gänzlich verschiedenen Art von Einschmelzungen, den sogenannten Quetschsystemen. Die Bezeichnung Quetscheinschmelzung rührt von dem notwendigen Quetschen der Schmelzstellen vermittels einer geeigneten Pinzette her und wird am besten aus den gegebenen Figuren und Beschreibungen deutlich gemacht.

2. Quetscheinschmelzsysteme.

Eine andere Art von Einschmelzsystemen, die den vorher beschriebenen in vieler Hinsicht überlegen sind, sind die sogenannten Quetschsysteme. Auch von dieser Art sollen einige der besten und am häufigsten angewendeten kurz beschrieben werden.

Eins der ältesten ist das der Swangesellschaft in London, deren Entwicklungsgang in Fig. 21 *a*—*k* dargestellt ist. *a* ist ein massives Glasstäbchen, in welches die Platinelektroden eingeschmolzen werden (*b* und *c*). *d* ist die aus der Hütte kommende und verbreitete Glasbirne, welche zur Spitze ausgezogen (*e*) und an der Spitze aufgeblasen wird (*f*). Hierauf wird die entstandene Öffnung mittels einer geeigneten Pinzette

geschlitzt (*h* und *g*) derart, daß je nach der angewendeten Form der Kohle der Schlitz weiter oder enger gestaltet wird. Die Elektroden mit der daran befestigten Kohle werden nun in der in *i* gezeichneten Form in den Hals der Lampe gebracht, die Platinösen am Rand angeschmolzen, der ganze Hals zu-

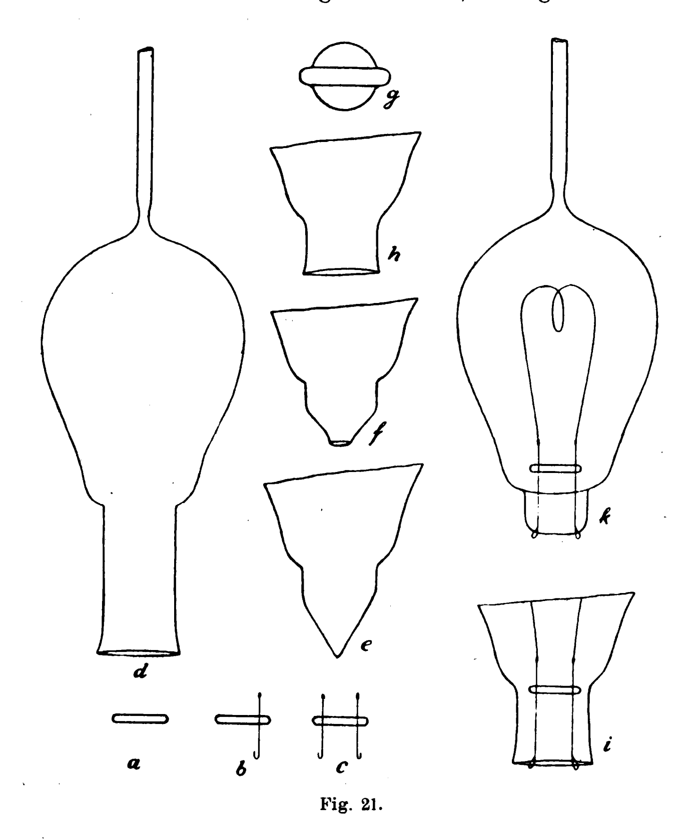


Fig. 21.

sammengeschmolzen und nun mit einer flachen breiten Pinzette flach gedrückt (*k*).

Fast dieselbe Einschmelzung ist in Fig. 22 veranschaulicht, mit dem Unterschied, daß zum Sparen des teuren Platindrahtes ein Teil desselben durch Nickelelektroden ersetzt ist. Die Lötstelle zwischen Platin und Nickel liegt in der Quetschstelle.

Eine weitere Verbesserung, d. h. eine weitere Ersparnis von Platin erzielte Siemens und Halske, A.-G., Berlin, dadurch, daß sehr kleine Stückchen Platindraht *3* (etwa 5 mm lang) angewendet wurden (Fig. 23*a*), an denen einerseits die Kupferösen *1*, anderseits die Nickelelektroden *2* angelötet waren. Die gesamte Länge des Platindrahtes wurde eingeschmolzen in die Quetschstelle. Beim Einschmelzen mittels der Gebläseflamme wurden nun die Kupferösen stark oxydiert, so daß hierdurch beim Anlöten der Stromzuleitungsdrähte *4* ein

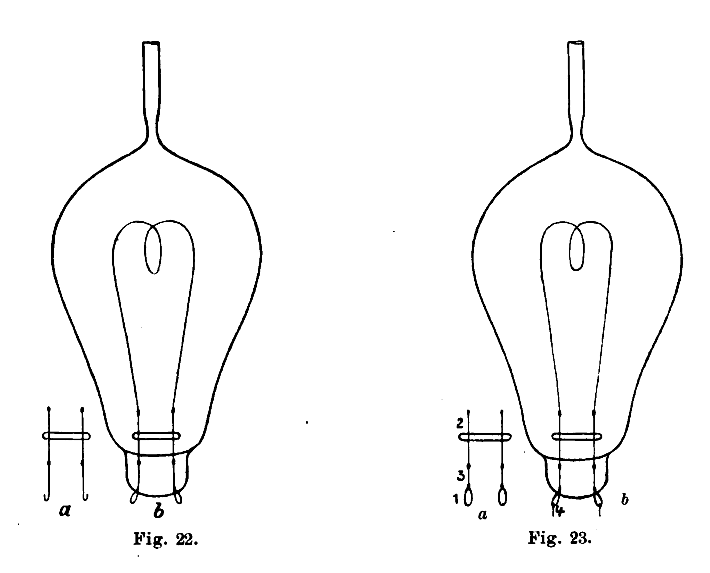


Fig. 22. Fig. 23.

sehr schlechter Kontakt erzielt wurde. Es war deshalb notwendig, nach erfolgter Einschmelzung die gebildete Kupferoxydschicht zu entfernen; dies wurde am gründlichsten dadurch erreicht, daß mittels rotierender Drahtbürsten oder Smirgelscheiben die Ösen geputzt wurden.

Die Elektrische Glühlampenfabrik „Watt" in Wien verbesserte diese Einschmelzungen derart (Fig. 24), daß an Stelle der Kupferösen an den Platindraht sofort die Zuleitungsdrähte angelötet und mit eingeschmolzen werden. Um das lästige Verbiegen der Elektroden während der Fabrikation und des Versandes der Lampen zu verhindern, wendet kurze Zeit

darauf dieselbe Fabrik die in Fig. 25 angedeutete Einschmelzung an. Sie ist im allgemeinen genau wie die vorherige, nur wird an die Brücke *1* ein hinreichend langes Glasstäbchen *2* angesetzt, welches an seinem unteren Ende teilweise mit eingequetscht wird. Hierdurch wird der Elektrode mit dem daran befestigten Kohlenfaden ein sicherer Halt gegen Verbiegen gegeben.

Um ein gutes Haften des Gipses beim Befestigen der Sockel zu bewerkstelligen, wurde im Jahre 1900 noch in die

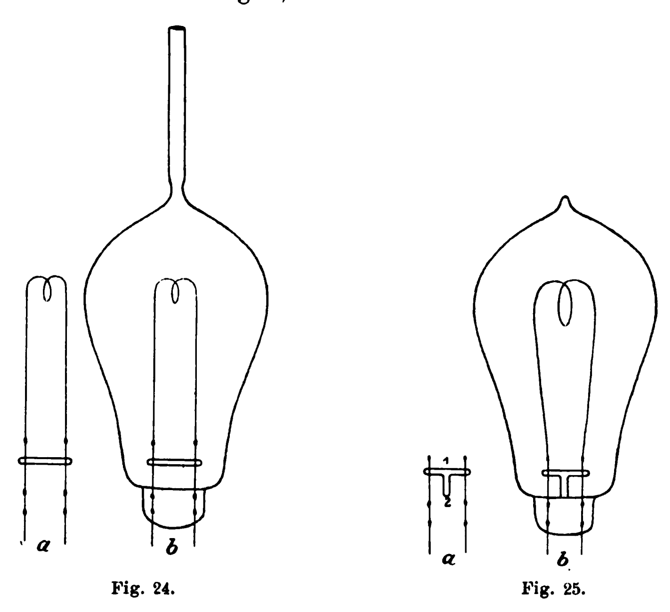


Fig. 24. Fig. 25.

Quetschstelle ein Loch eingeschnitten oder eingepreßt (Fig. 26). Dies wurde bewerkstelligt mittels einer Zange, die in ähnlicher Weise angewendet wurde wie die Lochzangen zum Durchlochen der Eisenbahnbillets.

Weitere Anordnungen für Quetscheinschmelzungen zeigen uns die Fig. 27 und 28, deren Herstellungsweise aus den Zeichnungen ohne weiteres hervorgeht. Bei beiden ist der Hals derartig nach unten hin erweitert, daß beim späteren Befestigen des Sockels mittels Gipses usw. ein gutes Festhaften desselben bedingt wird.

Hiermit sei die Aufzählung der wichtigeren Quetschsysteme erledigt, und wir gelangen nun zu Einschmelzarten, die schließlich zu unserem heute fast allgemein gebräuchlichen Einschmelzsystem, dem sogenannten amerikanischen Tellerfußsystem, geführt haben. Während bei den bisher erwähnten Anordnungen die Einschmelz- oder Quetschstelle dort, wo der die Dichtung hervorrufende Platindraht im Glas eingeschmolzen ist, außen lag, befindet sich dieselbe bei diesen Systemen im Innern der Lampe. Zur Erläuterung der geschichtlichen Entwicklung dieser Systeme seien einige davon aufgeführt.

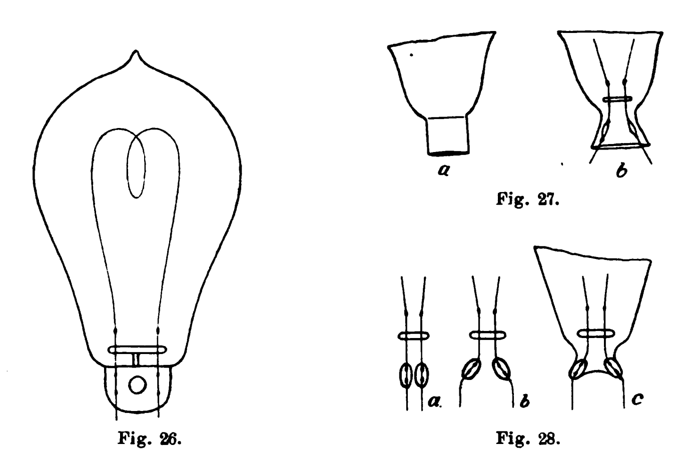


Fig. 26. Fig. 27. Fig. 28.

Eine der älteren Ausführungen, die von der amerikanischen Edisongesellschaft herrührt, ist in Fig. 29 dargestellt worden. Eine Glasröhre aus Bleiglas (*a*) wird zu zwei Kugeln aufgeblasen (*b*), um gleichzeitig zwei Füße herstellen zu können, und dann abgeschnitten (*c*). In den erhaltenen Körper werden die Elektroden, die aus Kupfer und Platindraht bestehen, eingeführt (*d*) und hierauf die vordere Öffnung der Röhre heiß gemacht und flach gedrückt derart, daß die Lötstelle zwischen Platin und Kupfer außerhalb der Einschmelzstelle und innerhalb des Rohres lag (*e*). Nach dem Befestigen des Kohlenfadens (*f*) war der Fuß fertig und konnte nun zur Einschmelzung in die Lampe dienen. Zu diesem Zwecke wurde der vorbereitete Ballon (*g*) am Halse zur Spitze abgezogen (*h*), die Spitze aufgeblasen (*i*) und die so entstandene kleine

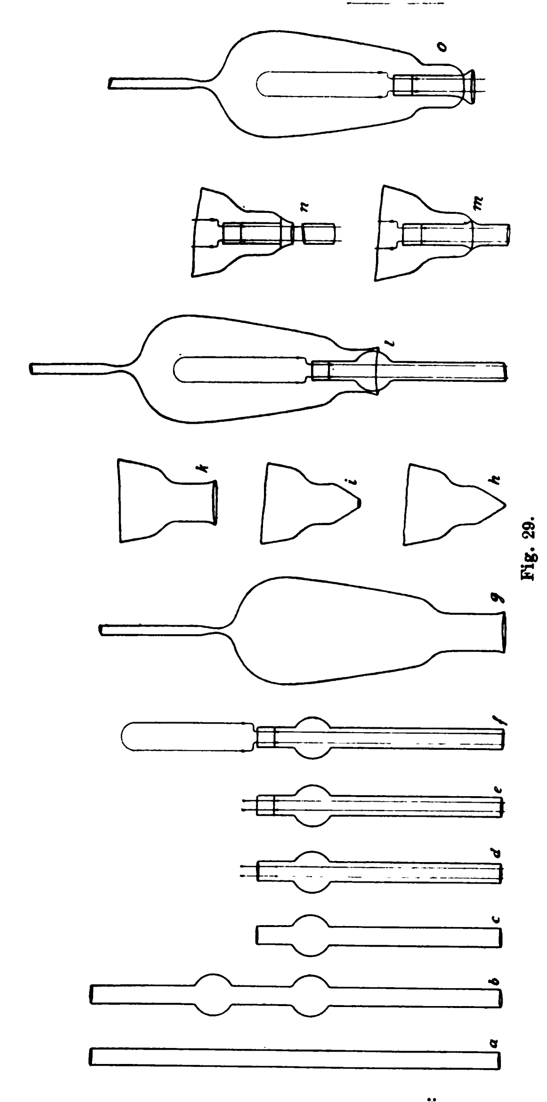


Fig. 29.

Öffnung trichterförmig erweitert (*k*). Der Fuß wurde nun in den entstandenen Trichter eingeführt (*l*), an der Berührungsstelle beider gut verschmolzen (*m*) und hierauf das Rohr des Fußes etwa 6 bis 8 mm hinter der Schmelzstelle abgeschnitten (*n*). Die Öffnung des Fußrohres wurde nun wieder heiß gemacht und nun trichterförmig aufgetrieben (*o*). Es wurde sogleich ein Rand geschaffen, der beim Angipsen des Sockels ein Festhaften des Kittes ermöglichte.

Eine ähnliche Einschmelzung ist die der Deutschen Edisongesellschaft, Berlin, vom Jahre 1887 (Fig. 30). Nachdem das Kugelrohr (Fig. 30) rund zugeschmolzen (*a*) und an zwei gegenüberliegenden Enden kleine Öffnungen aufgeblasen worden waren, wurden dort zwei Röhrchen aus Rubin-Bleiglas aufgeschmolzen (*b*). Hierauf wurden die aus Kupfer und Platin-

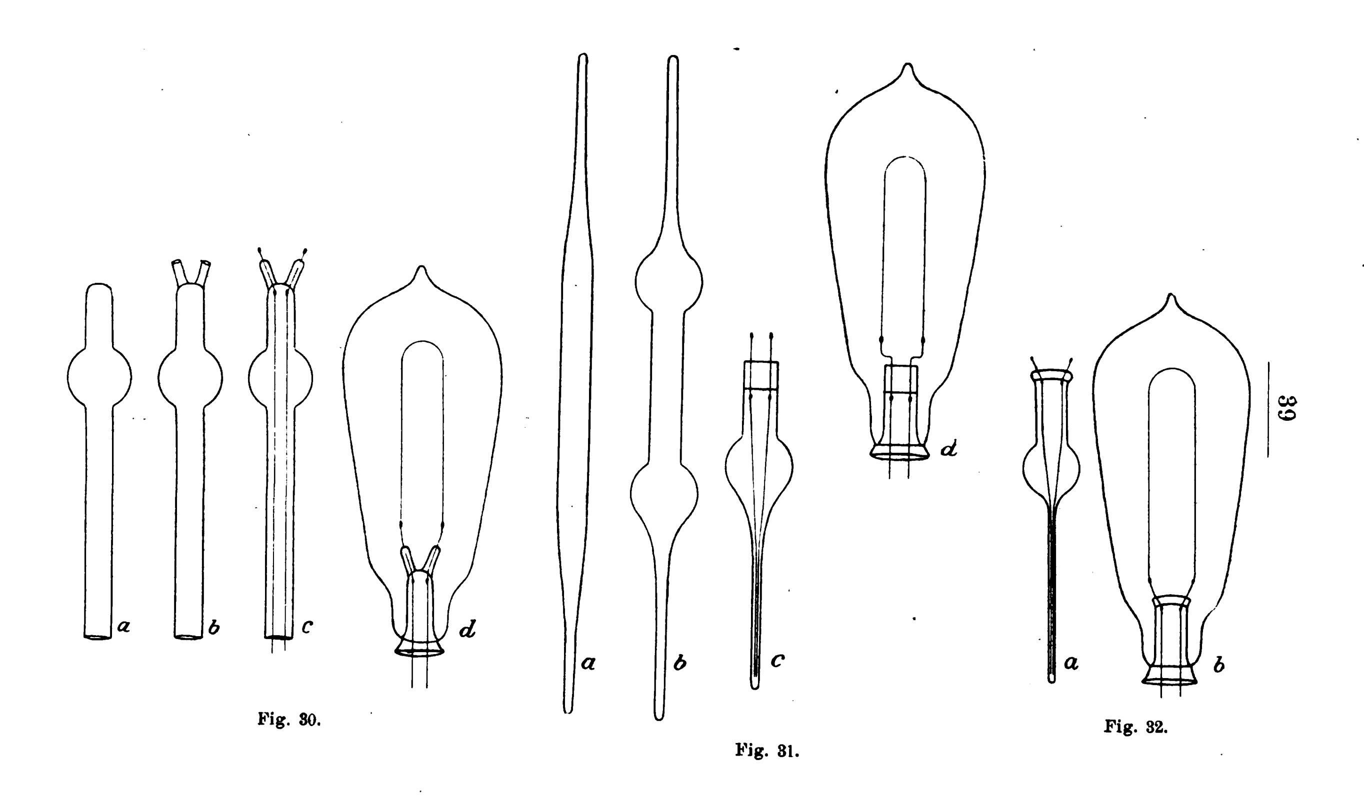


Fig. 30.

Fig. 31.

Fig. 32.

draht bestehenden Elektroden eingeführt und die Bleiglasröhrchen gut mit dem Platindraht verschmolzen (*c*). Die weitere Einschmelzung erfolgte in gleicher Weise, wie vorher beschrieben (*d*).

Eine der Edisoneinschmelzung sehr ähnliche verwendete R. W. Strehlenert, Stockholm 1886 (Fig. 31). Eine Glasröhre wird auf beiden Seiten abgezogen (*a*), zwei Kugeln geblasen (*b*), die Elektroden eingeführt und eingequetscht (*c*) und bei der Einschmelzung genau so wie vorher beschrieben verfahren (*d*).

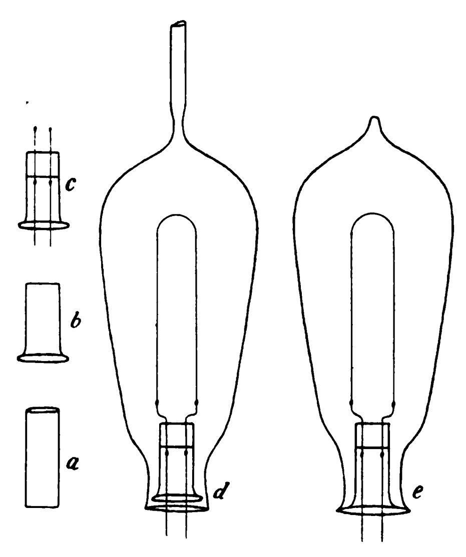


Fig. 33.

Dieselbe Fabrik änderte diese Einschmelzung bald darauf dahin ab, daß die Platinelektroden gleich beim Einquetschen seitlich ausgezogen wurden (Fig. 32, *a* und *b*). Es konnten zu diesem Zweck, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, bedeutend kürzere Platindrähte verwendet werden, so daß eine große Platinersparnis eintrat.

3. Tellereinschmelzsysteme.

Schließlich seien noch die neuesten Einschmelzungen, die sogenannten amerikanischen Tellerfußsysteme, kurz angeführt, deren letzte Ausführung (Fig. 35) fast allgemein heute noch

im Gebrauch ist. Während die bisher beschriebenen Methoden schlechterdings nur mit der Hand ausgeführt werden konnten, konnte für dieses System eine maschinelle Einrichtung getroffen werden, die unendlich viel Mühe und Zeit ersparte. Dieses System, vom Jahre 1890—1891 stammend, wird später ausführlicher behandelt werden. Die erste Ausführung war die in Fig. 33 gezeichnete. Eine Glasröhre wird in passende Stücke geschnitten (*a*) und auf einer Seite trichter- oder tellerförmig aufgebogen (*b*). Hierauf werden die aus Kupfer und Platindraht bestehenden Elektroden eingeführt und in das heiß gemachte Glas eingequetscht derart, daß die Lötstellen zwischen Kupfer und Platin außerhalb der Quetschstelle liegen (*c*). Nach dem Ankitten der Kohle wird dieser Fuß in den konischen Hals der Birne in der gezeichneten Weise (*d*) eingeführt und nun gut verschmolzen (*e*).

Eine im Jahre 1891 eingeführte Verbesserung dieser Einschmelzmethode bezweckt eine Ersparnis des Platins und ein Verhüten des Abbrechens der kupfernen Stromzuleitungsdrähte. Aus diesem Zwecke wurde die Lötstelle mit eingequetscht (Fig. 34).

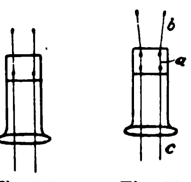


Fig 34. Fig. 35.

Im gleichen Jahre wurde eine weitere bedeutende Platinersparnis dadurch erzielt (Fig. 35), daß etwa 4—5 mm lange Platindrähtchen *a* mit den Kupferzuleitungsdrähten *c* und den Nickelelektroden *b* zusammengelötet und beide Lötstellen mit eingequetscht wurden. Dieses letztere System ist das heute noch übliche. Die Ersparnis an Platin beträgt etwa 80 % gegenüber dem ersten Tellereinschmelzsystem.

C. Einschmelzsysteme für die sogenannten spitzenlosen Lampen.

Es empfiehlt sich in vielen Fällen, Lampen ohne Spitzen anzuwenden, und zwar dort, wo die Gefahr vorhanden ist, daß leicht die Spitzen abgebrochen und ein Abbrechen der Spitze gefährlich werden könnte, so z. B. in Räumen, die mit feuergefährlichen Stoffen angefüllt sind, weiter auf Schiffen u. s. w. Man mußte zu diesem Zweck Systeme schaffen, die das Evakuieren der Lampen nicht in der gewöhnlichen Weise gestatteten, sondern durch geschickte Anbringung des Pumprohres an einer anderen Stelle ermöglichten.

Die älteste, aber auch schwerfälligste Methode ist die der De Khotinskygesellschaft, die hier kurz erwähnt sei. In Fig. 36a ist die Glocke ohne Spitze gezeichnet, die am Halse unten den Pumpstengel mit der Abschmelzverengung trägt. Um diese Arbeit bequem vornehmen zu können, wurde die Lampenglocke in einer geeigneten, z. B. in der in *b* gezeichneten Zange mit drei oder vier Federn eingespannt. Durch Erhitzen

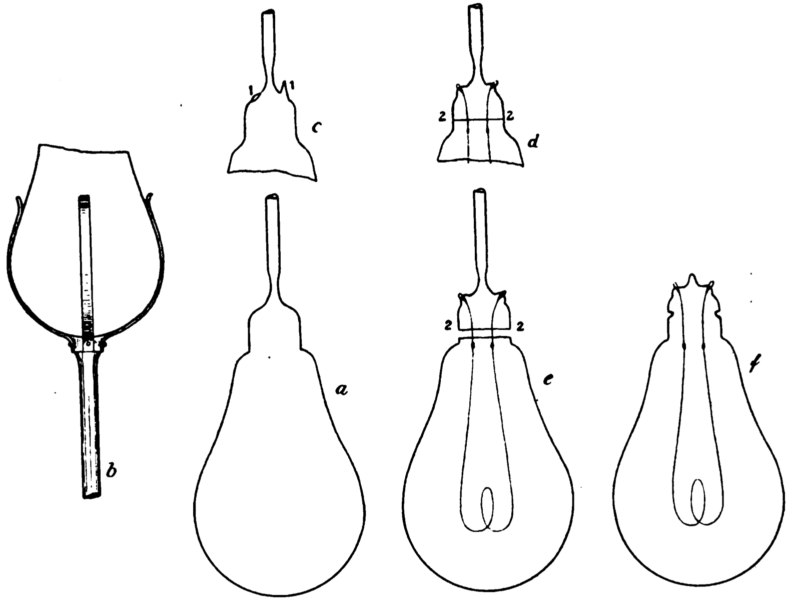


Fig. 36.

und Ausblasen wurden nun bei *1 1* Öffnungen hergestellt (*c*), in welche die mit Bleiglas umwickelten Platinelektroden eingeschmolzen wurden (*d*). Hierauf wurde der Hals bei *2 2* abgesprengt (*e*), der Kohlenfaden befestigt und das abgesprengte Stück sauber wieder mit der Birne verschmolzen (*f*). Da es unerläßlich war, den abgesprengten Fuß mit derselben Glasbirne wieder zusammenzuschmelzen, war es nötig, Fuß und Birne in geeigneter Weise mit gleicher Nummer zu versehen, oder andere Vorsichtsmaßregeln zu treffen, um ein Verwechseln auszuschalten. Beim Absprengen der Füße ergab sich ein ziemlich großer Bruch, so daß diese Methode sehr unökonomisch war.

Eine sehr gute und leicht ausführbare Einschmelzung für spitzenlose Lampen zeigt uns Fig. 37, die in Verbindung mit dem Tellereinschmelzsystem ausgeführt wird. *a* ist ein Röhrchen,

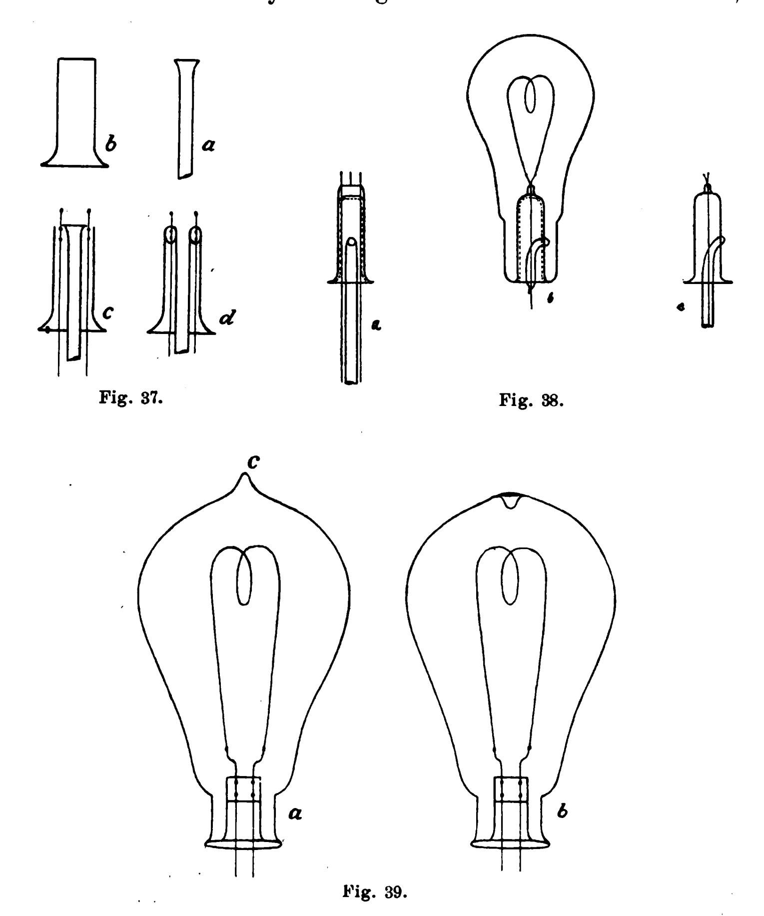


Fig. 37.

Fig. 38.

Fig. 39.

welches an einem Ende trichterförmig erweitert ist, und das nun gleichzeitig mit den Elektroden in den Teller eingeführt wird (*a*). Hierauf werden das äußere und das innere Tellerrohr sauber verschmolzen, so daß der Platindraht in die Schmelzstelle kommt (*d*).

Auch die in Fig. 38 dargestellte Einschmelzart ist anwendbar und der Firma American Miniature & Decorative Lamp Com. Neuyork[1]) patentiert worden. Wie aus der Fig. *a* und *b* ersichtlich, wird in das Innere des Tellerfußes das Pumprohr eingeschmolzen, welches nach dem Evakuieren

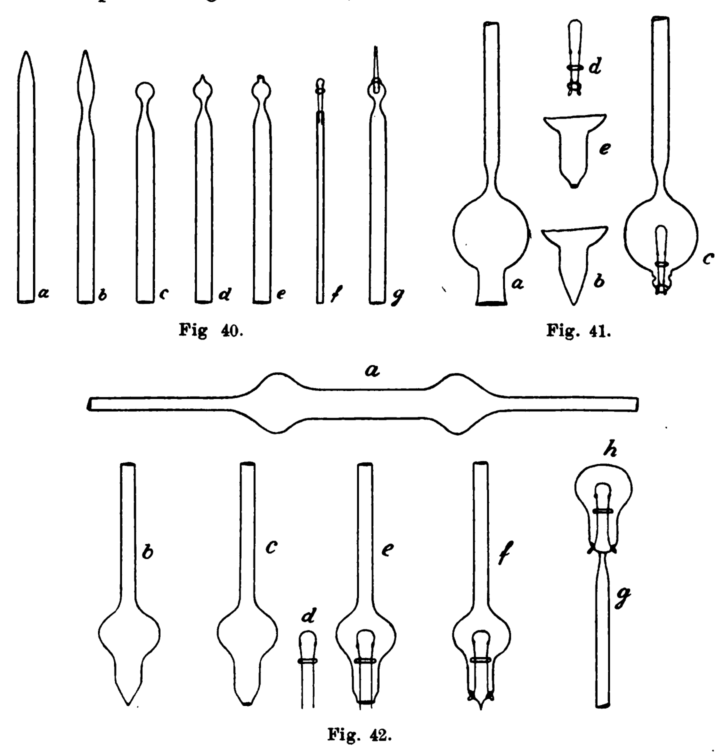


Fig 40.

Fig. 41.

Fig. 42.

der Lampe kurz unterhalb des Tellerrandes zur Spitze abgezogen wird (*c*). Eine ähnliche Herstellungsweise von spitzenlosen Lampen rührt her von der Elektrizitätsgesellschaft Gelnhausen[2]) m. b. H., die derart verfährt, daß das Pumprohr gleichzeitig mit den Stromzuführungsdrähten mit in den Tellerfuß eingeschmolzen und eingequetscht wird.

[1]) D.R.P. 147328 vom 4. April 1903.
[2]) D.R.P. 176005 vom 1. Juli 1905.

Eine eigenartige Herstellung spitzenloser Lampen ist folgende (Fig. 39). Eine in gewöhnlicher Weise verfertigte Lampe mit Spitze (*a*) wird nach dem Evakuieren und Abschmelzen vorsichtig an der Spitze *c* erwärmt so weit, daß der äußere Luftdruck die heiße und weiche Spitze nach dem Innern der Lampe drückt (*b*).

D. Einschmelzsysteme für kleine Lampen. (Erbsen-, Taschen- und Speziallampen.)

Aus den Beschreibungen der bisherigen Einschmelzverfahren geht wohl ohne weiteres hervor, daß diese im allgemeinen mit wenig Ausnahme nicht für die kleinen Lampen verwendet werden können, da für die öfters recht kleinen Birnen eine einfache Einschmelzung erste Erfordernis ist. Ein weiterer Unterschied ist der, daß wohl durchgängig der gesamte Stromzuleitungsdraht vollständig aus Platin besteht, da es sich gezeigt hat, daß für diese Zwecke, sofern die Arbeit nicht zu schwierig gestaltet werden soll, ein Anlöten von Kupferdrähten und Nickelelektroden sich nicht empfiehlt. Einige der einfachsten Einschmelzungsarten seien hiermit erwähnt.

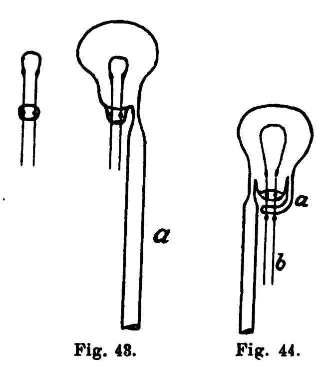


Fig. 43. Fig. 44.

Ein Röhrchen (Fig. 40 *a*) wird zur Spitze ausgezogen, verengt (*b*) und zur Kugel aufgeblasen (*c*). Am oberen Ende der Kugel wird eine Spitze ausgezogen (*d*) und diese aufgeblasen (*e*), sodaß die Öffnung zur Aufnahme des Fußes mit der Kohle entsteht. Der Fuß (*f*), der zur besseren Handhabung leicht an einen Glasstab angeschmolzen ist, wird nun in die Kugel eingeführt und dort gut verschmolzen (*g*).

Eine ähnliche Einschmelzung für kleine Kugellampen zeigt Fig. 41. Der Entwicklungsgang ist aus den Detailzeichnungen *a* bis *e* ersichtlich.

Die Elektrische Glühlampenfabrik „Watt“ in Wien stellte spitzenlose Taschenlampen in folgender Weise her (Fig. 42). Von einer Glasröhre werden längere Spitzen ausgezogen und zwei Kugeln aufgeblasen (*a*). Diese werden in der Mitte abgezogen (*b*) und zur Öffnung aufgeblasen (*c*). Die Brücke mit der Kohle (*d*)

wird nun eingeführt (*e*), eingeschmolzen und zwischen den Einschmelzstellen behufs Ansetzung des Pumpstengels eine Spitze ausgezogen (*f*). Hierauf wird schließlich die Spitze bei *h* flach zugeschmolzen (*g*).

Eine der vorhergehenden ähnliche Einschmelzung derselben Fabrik zeigt uns Fig. 43, nur mit dem Unterschied, daß zur Ersparnis an Platin Kupferdrähte angelötet sind und der Pumpstengel *a* nicht innerhalb der Einschmelzstellen, sondern seitlich angebracht worden ist.

Eine weitere Ausführung ist in Fig. 44 dargestellt, die die Verwendung von Nickel-, Platin und Kupferelektroden gestattet. Zur Verhütung des Abbrechens der kupfernen Zuleitungsdrähte *b* wurde ein Sicherheitsbügel *a* an und um die Drähte b geschmolzen.

In neuester Zeit verwendet man auch für die Einschmelzung kleinerer Lampen entsprechend kleinere Tellerfüße, und hat sich dieses Verfahren, welches selbstverständlich nur bis zu einer gewissen Größe der Birne in Anwendung kommen kann, wegen seiner einfachen Ausführung ausgezeichnet bewährt.

E. Einschmelzverfahren für Speziallampen. (Röhrenlampen usw.)

Die Herstellung einer Lampe für ärztliche Zwecke (eine sogenannte Augenausleuchtlampe) erfolgt in der in Fig. 45 angegebenen Weise. Eine Röhre wird zur Kugel aufgeblasen und dann gleichzeitig das Pumprohr angesetzt (*a*). Hierauf wird die Kugel flach gedrückt (*b*) und die kreisförmige Kohle mit entsprechenden Elektroden (*c*) vorsichtig eingeführt, indem man erst den einen Schenkel hineinbringt und dann schließlich die ganze Kohle. Hierauf werden die Ösen der Elektroden in den Fuß eingeschmolzen (*d*). Jetzt kommt die heikelste Arbeit, und zwar die Herstellung der ringförmigen Röhre um die Kohle. Zu diesem Zweck wird die flache Birne im Zentrum mit einer Spitzflamme zur Weißglut erhitzt und diese Stelle dann mit einem entsprechend dicken Eisenstab durchstochen (*e*) und nun der entstandene röhrenförmige Körper rund geblasen (*f*).

Die Herstellung der jetzt so viel verwendeten Telephonlampen geschieht in der in Fig. 46 dargestellten Weise: Ein Glasrohr (*a*) auf beiden Seiten zur Spitze ausgezogen, hierauf an der passenden Stelle durchschnitten (*b*) und gleichzeitig

das Pumprohr b_1 angesetzt. Die Brücke mit der Kohle c_1 wird hierauf leicht an den oberen Teil der Röhre angesetzt (*c*) und beide Stücke nun sorgfältig verschmolzen (*d*). Nachdem

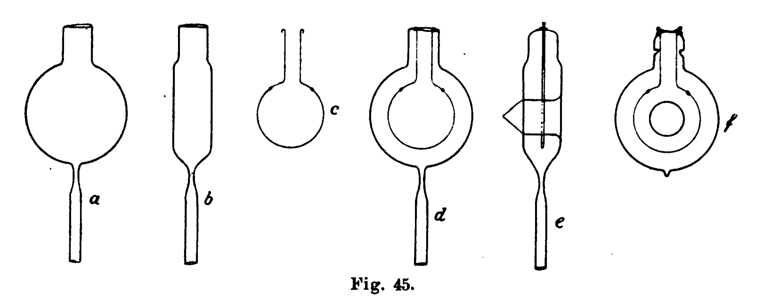


Fig. 45.

nun die obere Spitze abgezogen und rund geblasen worden ist (*e*), erfolgt das Evakuieren und Abstechen (*f*). Schließlich wird das Lämpchen noch mit einer in *f* gezeichneten Einsteckhülse versehen.

Zu den Speziallampen gehören auch die sogenannten Röhrenlampen, von deren Anfertigungsweisen auch einige mitgeteilt seien. Eine der ältesten Herstellungsweisen zum Einschmelzen von bügelförmigen Kohlen in Röhrenlampen ist in Fig. 47 (S. 50) angedeutet. Die beiden Stromzuführungsdrähte aus Platin werden mit Bleiglas umwickelt (*a*) und hierauf eine Glasröhre mit einem Pumprohr versehen und gleichzeitig zwei Öffnungen an beiden Seiten des Pumprohres hergestellt, in welche die Stromzuführungsdrähte eingeschmolzen werden (*b*). Der untere Teil dieser Röhre nun mit Pumprohr und Zuleitungsdrähten wird vorsichtig

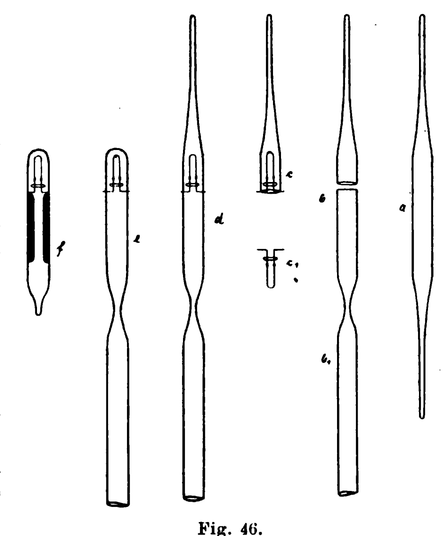


Fig. 46.

abgesprengt, die Bügelkohle angekittet und der ganze Fuß wieder sauber mit dem übrigen Teil der Röhre verschmolzen (*c*).

In neuerer Zeit verwendet man zur Anfertigung von Röhrenlampen mit bügelförmigen Kohlen fast ausschließlich das amerikanische Einschmelzsystem.

Um gerade Kohlenfäden in Röhrenlampen unterzubringen, sind selbstverständlich andere Wege einzuschlagen. So ist eine der einfacheren Methoden in Fig. 48 (S. 51) dargestellt, deren Fabrikationsgang aus den Detailzeichnungen *a*—*f* ohne weiteres hervorgeht. *a* ist eine Glasröhre, durch deren Öffnung a_1 der mit Zuleitungsdrähten versehene Kohlenfaden *b* eingeführt wird (*c*). Hierauf wird das eine Zuleitungsende sauber mit der Röhre verschmolzen und gleichzeitig an der Schmelzstelle das Glaszäpfchen d_1 aufgesetzt (zum besseren Halten des Gipssockels). Ebenso erfolgt dann das Ansetzen des Pumprohres d_2 (*d*). Nachdem noch das andere Ende der Röhrenlampe in gleicher Weise fertiggestellt worden ist, wird der Kohlenfaden an zwei Stellen, e_1 und e_2 (*e*), gehaltert, um das Durchbiegen des Fadens zu verhindern. *f* zeigt die fertiggepumpte Lampe, welche mit den Sockelringen versehen worden ist.

Alle derartigen Röhrenlampen mit geradem langen Kohlenfaden müssen verankert werden, da die Leuchtfäden beim Glühen sich ausdehnen und dann sehr leicht in diesem Zustande den Glaskörper berühren und so die Lampe zerstören können. In den Fig. 49—52 (S. 51) sind nun einige Methoden angegeben, um das schädliche Durchbiegen der Fäden zu vermeiden. In Fig. 49 erschwert die Schleife *a* des Kohlenfadens das Durchbiegen, während Fig. 50 und 51 Anordnungen andeuten, bei welchen vermittels der angebrachten Federn der glühende Faden straff gezogen wird. Fig. 52 zeigt eine Federvorrichtung für mehrere gerade Fäden, besonders geeignet zur Herstellung von Hochvoltlampen.

IV. Das moderne maschinelle, amerikanische Einschmelzverfahren.

Im folgenden soll nun kurz das moderne Verfahren, welches nach seinem Ursprungsland das „amerikanische" genannt wird, geschildert werden. Die Vorzüge dieser Methode sind, wie schon angedeutet, neben sauberer Arbeit eine ungleich größere Leistungsfähigkeit gegenüber der reinen Handarbeit und daher auch große Billigkeit. An dieser Stelle soll aber nicht unterlassen werden zu betonen, daß auch bei diesem Verfahren von deutschen einschlägigen Fabriken und Werkstätten eine Menge wichtiger Verbesserungen getroffen worden sind, die Veranlassung gaben, es allgemein zur Einführung gelangen zu lassen.

Interessant ist es, einen Vergleich zu geben zwischen der Leistungsfähigkeit der amerikanischen gegenüber der alten deutschen Einschmelzmethode. Die folgende Tabelle gibt ein ungefähres Bild bei einer Arbeitszeit von 10 Stunden pro Tag:

Amerikanisches Verfahren:		Deutsches Verfahren:	
Tellerdrehmaschine .	1700 Stück		
Maschine zum Einquetschen der Elektroden	1200 „	Einschmelzen der Elektroden in die Brücken	400 Stück
Abziehen der Kolbenhälse	2500 „	Abziehen der Hälse . . .	1000 „
Einschmelzen der Teller in die Birnen	1000 „	Einschmelzen der Brücken in die Birnen	400 „

Hieraus geht die gewaltige Überlegenheit des neuen Systems über das alte deutlich hervor; man kann sagen, daß man mit Hilfe der neuen Maschinen etwa 150 % mehr leisten kann als nach den älteren Methoden.

A. Das Schneiden und Löten der Drähte.

Die erste Arbeit, die zur Herstellung der eigentlichen Glühlampe vorgenommen werden muß, ist die Anfertigung der Stromzuführungsdrähte. Im allgemeinen bestehen dieselben, wie schon früher öfters erwähnt wurde und aus Fig. 35 ersichtlich ist, aus den eigentlichen Stromzuführungsdrähten *c*, aus Kupfer bestehend, den Einschmelzdrähten *a*, aus Platin, und den Elektroden *b*, aus Nickel. In neuester Zeit werden die letzteren oft auch ganz weggelassen und die Kohlenfäden direkt an die Platindrähte *b* angekittet, die nun entsprechend länger sein müssen, um ein bequemes Befestigen der Kohlen zu ermöglichen. Der hierbei größere Aufwand an teurem Platin macht sich jedoch gut wieder bezahlt, da die Arbeit des Anlötens der Nickelelektroden wegfällt und der verwendete Nickeldraht doch auch Geld kostet, zumal dieselben im Durchmesser bedeutend stärker als die Platindrähte gewählt werden. Die folgende Tabelle gibt uns das ungefähre Verhältnis der Durchmesser von Kupfer-, Nickel- und Platindrähtchen bei den verschiedenen Stromstärken, wie sie bei der Herstellung von Kohlenfadenglühlampen benutzt werden:

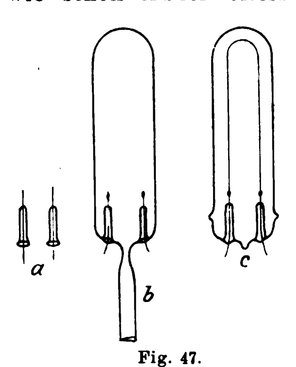


Fig. 47.

Stromstärke in Amp.	Durchmesser des Platins in mm	Durchmesser des Kupfers in mm	Durchmesser des Nickels in mm
0,3—0,8	0,15	0,35	0,30
0,85—1,0	0,18	0,40	0,35
1,05—1,6	0,20	0,40	0,40
1,65—1,8	0,24	2 × 0,24—0,26	0,45
1,9—2,5	0,27—0,30	2 × 0,35	0,50
2,6—3,5	0,35—0,40	2 × 0,40	0,60
3,6—4,5	2 × 0,30	2 × 0,45	0,65

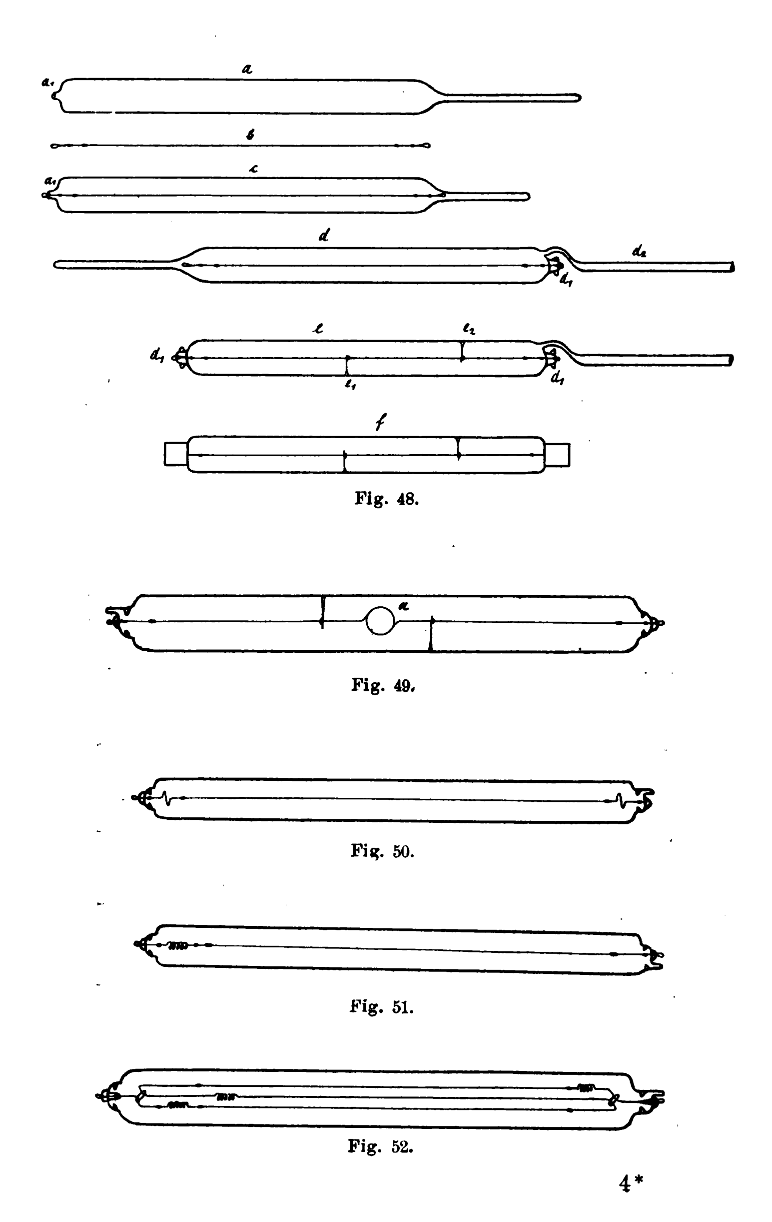


Fig. 48.

Fig. 49.

Fig. 50.

Fig. 51.

Fig. 52.

Die Drähte werden nun mit Hilfe einfacher Maschinen in die notwendigen Längen geschnitten. Beim Schneiden der Kupferdrähte verfährt man gewöhnlich so, daß, wie in Fig. 53 dargestellt ist, der auf einer Rolle *A* befindliche Kupferdraht von der in der Führung *D* laufenden windenartigen Einrichtung *B* straff aufgewickelt wird vermittels der Kurbel *C*. Man wickelt eine bestimmte Anzahl Drähte ab, etwa 50, die dann in der Mitte durchgeschnitten werden, so daß man 2 × 50 Drähte, für 100 Lampen reichend, erhält. Die Winde *B* besteht aus einem 3—4 mm dicken Eisenblech, auf welchem in der Mitte

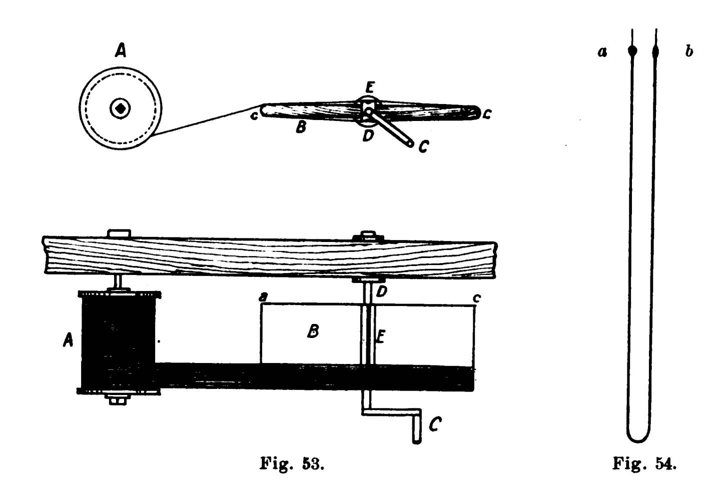


Fig. 53. Fig. 54.

auf beiden Seiten 10 mm dicke Metallstücke *E* aufgelötet sind, die zum bequemen Durchschneiden der Drähte vermittels einer kräftigen Schere tiefe Schneidenuten tragen. Die Länge *a b* der Wickel *B* ist gleich Länge der Kupferdrähte, die vorläufig zur weiteren Verarbeitung noch nicht an den Biegungen *c* durchgeschnitten werden. Diese Drähte werden zu 50 oder 100 Stück in ein Bündel vereinigt und gelangen so geordnet und gezählt zur weiteren Fabrikation.

Was das Schneiden der Platindrähtchen anbelangt, so geschieht dies fast durchgängig automatisch mittels geigneter Maschinen, die gleichzeitig das Schneiden des auf einer Stelle befindlichen Drahtes in beliebige gewünschte Längen gestattet, die geschnittenen Drähte in Kästchen auffängt und zählt.

Die Länge der Platindrähte schwankt je nach Verwendungsart zwischen 4—10 mm. Das Schneiden der Nickelelektroden geschieht in gleicher Weise.

Die nun folgende Lötarbeit erfordert eine sichere Hand und ein sehr gutes Auge. Es ist keineswegs leicht, eine gute Lötstelle zwischen den Metalldrähten herzustellen, und wird gewöhnlich erst nach längerer Übung am besten von weiblichen Personen sauber ausgeführt. Das größte Augenmerk ist darauf zu richten, daß eine wirklich innige und feste Verbindung der einzelnen Drähte zustande kommt, und daß trotzdem die Lötstellen oder Lötknoten nicht zu dick werden. Die Lötstellen müssen fest sein, da sonst beim späteren Einschmelzen der Drähte in die Füße sehr leicht an den Knoten Drahtbrüche eintreten und so eine Stromunterbrechung und daher auch Unbrauchbarkeit der Lampe hervorgerufen wird; anderseits dürfen die Lötknoten nicht zu dick sein, da hierdurch unnötigerweise Spannung in den Glasfuß gebracht wird und beim Abkühlen der gequetschten Füße sehr leicht Sprünge entstehen, die das Luftleermachen der Lampen verhindern.

Man verfährt nun beim Löten der Drähte derart, daß das Ende des Kupferdrahtes in einer kleinen Stichflamme zur Kugel geschmolzen wird, hierauf schnell der Platindraht mit Hilfe einer geeigneten Pinzette in die geschmolzene Kupferperle eingesteckt und dann der aus der Flamme gewonnene noch weiche Knoten durch Ziehen zu einem ovalen Knoten gestaltet wird. Fig. 54 *a* zeigt uns einen runden, nicht brauchbaren Lötknoten, *b* den ovalen brauchbaren. In ähnlicher Weise verfährt man, wenn an den Platindraht noch Nickelelektroden angelötet werden sollen. Hier erhitzt man das Ende des Platindrahtes zur Weißglut, nähert die Nickelelektrode in der Flamme dem Draht und verbindet schnell beide.

B. Herstellung der sogenannten Teller oder Trichter.

Glasröhren, deren Durchmesser und Wandstärke sich nach der Art und Größe der verwendeten Glasbirnen richtet, werden auf der in Fig. 55 dargestellten Tellerrollmaschine zum Teller aufgetrieben. Die Maschine besteht aus dem Tellerroller *A* und dem Kreuzfeuer *B*. Der Roller *A*, von dem eine weitere Ausführungsform in Fig. 56 angegeben ist, dient zur Aufnahme der Glasröhre *C*, die am Ende *D* vermittels des Kreuzfeuers *B* bei ständigem mit der Hand aus-

geführtem Rollen zum Erweichen erhitzt wird. Ist dieser Punkt erreicht, so wird vermittels des sogenannten Auf-

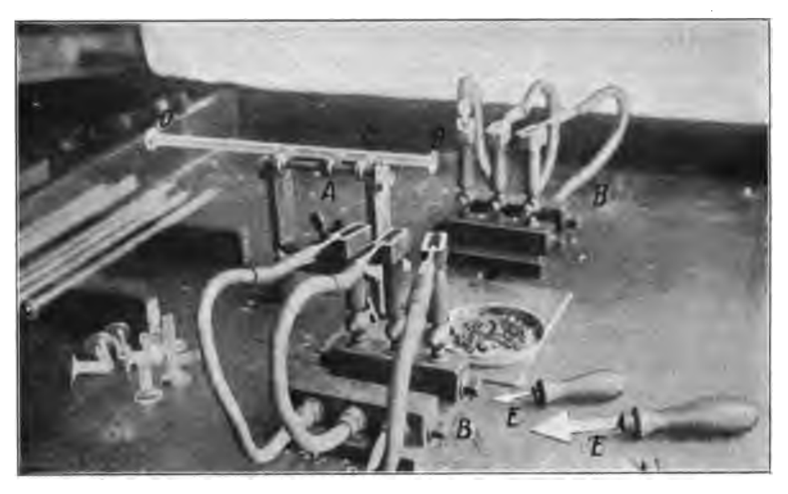


Fig. 55.

treibers *E*, deutlicher in Fig. 57 dargestellt, der Teller *D* aufgetrieben. Der Auftreiber besteht aus einem pfeilartigen Stahlstück *a* (Fig. 57), das in dem Holzheft *b* steckt. Um ein sicheres Gleiten des Stahlstückes *a* an dem rotglühenden Glasrohr zu ermöglichen, wird am besten der heiße Auftreiber in Wachs oder Fett eingetaucht und nun erst das Tellerauftreiben vorgenommen. Um die Leistungsfähigkeit zu vergrößern, wird vorteilhafterweise an beiden Enden der Glasröhre *C* je ein Teller hergestellt, die dann vermittels der in Fig. 58 dargestellten Abschneidemaschine zur gewünschten Länge abgeschnitten werden. Die Enden der übrigbleibenden Röhre werden nun wieder zu Tellern verarbeitet, bis schließlich ein kleines, nicht mehr verwendbares kurzes Röhrenstück übrig bleibt.

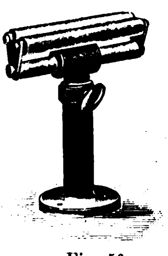


Fig. 58.

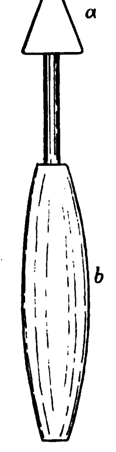


Fig. 57.

Die Tellerschneidemaschine (Fig. 58) besteht aus dem Glasschneidemesser *A*, welches unbeweglich an der mit Schiebenut versehenen Metallplatte *B* angebracht ist. In der Nut gleitet beweglich die Vorrichtung *C* zur Aufnahme der Glas-

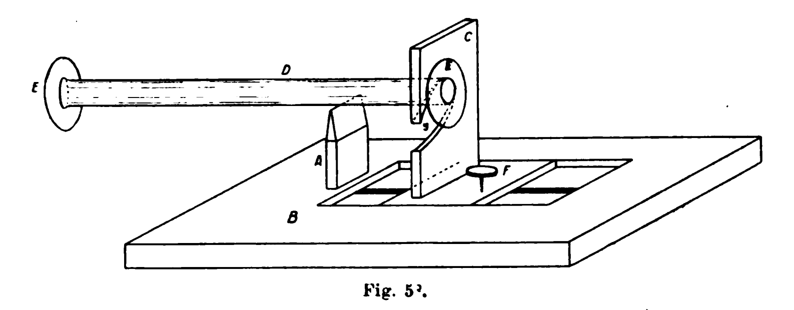


Fig. 58.

röhre *D* mit dem Teller *E*, die zur Einstellung und Befestigung auf eine bestimmte Länge die Schraube *F* trägt. Das Rohr mit dem Teller *E* wird in den Ausschnitt *G* der Metallplatte *C* eingeführt, dann mit einem kurzen Druck die Glasröhre mit dem Messer *A* eingeritzt und dort abgebrochen.

C. Einschmelzen, Quetschen und Abkühlen der Füße.

Die nun folgende sehr wichtige Arbeit ist das Einschmelzen der Stromzuführungsdrähte mit den Elektroden in die Teller zur Herstellung der Tellerfüße. Zu diesem Zweck werden die Teller in die in Fig. 59 und 60 gezeichneten Tellerzangen eingeklemmt und gleichzeitig die losen Drähte in ihrer richtigen Lage in die Teller eingeführt. Fig. 59 zeigt uns eine Zange, die von der bekannten Firma Joh. Prigge, Augsburg-Lechhausen, angefertigt wird. Diese Zange besteht aus einer mit einem dem Tellerrohr *a* angepaßten Schlitz versehenen Scheibe *b*, welche vermittels der Stangen *c* mit einer zweiten Scheibe *d* fest verbunden ist. Die Scheibe *d* trägt fest die Röhre *g*, in welcher wiederum die Röhre *f* gleitet, welche die durchbohrte Scheibe *e* trägt. Innerhalb des Rohres *g* liegt zwischen dem etwas verjüngten Rohr *f* und einer Auflage beim Drücker *i* eine Spiralfeder *h*. Durch einen Druck bei *i* in der Pfeilrichtung wird die Röhre *g* mit dem daran befestigten Körper *b c d* nach oben geschoben,

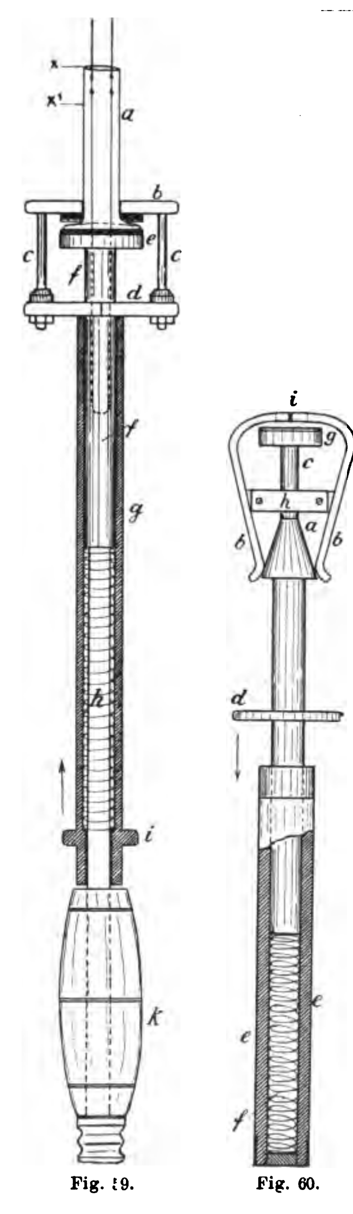


Fig. 59. Fig. 60.

während die am Handgriff *k* befestigte Röhre *f* mit dem Teller *c* in seiner Lage verharrt. Diese Stellung dient nun zur Aufnahme des Tellers *a*, während durch Verminderung des Druckes bei *i* ein Heruntergleiten der Röhre *g* mit *b c d* und damit das Festklemmen des Tellers *a* bewerkstelligt wird. Um ein Zerdrücken des Glastellers *a* hierbei zu vermeiden und ein luftdichtes Anpressen des Tellers an *e* zu bewerkstelligen, sind sowohl die Scheiben *b* und *e* an den korrespondierenden Flächen mit Asbestscheiben belegt. Die Drähte werden nun in den Teller derart eingeführt, daß die Platindrähtchen die in x x_1 bezeichnete Lage einnehmen, daß also die äußere Lötstelle noch innerhalb des Glastellers *a* liegt. Die Röhre *a* bis zum Ende des Handgriffes *k* bildet somit eine durchgehende Verbindung, durch die von *k* nach *a* Luft geblasen werden kann.

Die in Fig. 60 dargestellte Konstruktion einer Tellerzange rührt her von der Mechanischen Werkstatt von Köppe & Schulz, Berlin. Die Zange besteht aus dem durchbohrten Konus *a*, welcher an einem Metallrohr mit dem Drücker *d* befestigt ist. Das Rohr gleitet in einem zweiten Rohr *e*, in welchem die Feder *f* liegt. An dem Konus *a* ist weiter das Rohr *c* und die mit Asbest belegte durchbohrte Scheibe *g*

befestigt, weiter ein Metallstück *h*, an welches beweglich vermittels Scharnieren die beiden Greifer *b* angebracht sind. Diese Greifer werden in geeigneter Weise durch Anbringung kräftiger Federn gegen den Konus *a* gedrückt und tragen am oberen Ende *i* entsprechende Aussparungen zur Aufnahme des Tellers. Durch einen Druck bei *d* in der Pfeilrichtung nach unten wird die Zange zur Befestigung des Tellers geöffnet. Um einen durchgehenden Luftkanal zu schaffen, ist bei *k* das Rohr *e* durchbohrt.

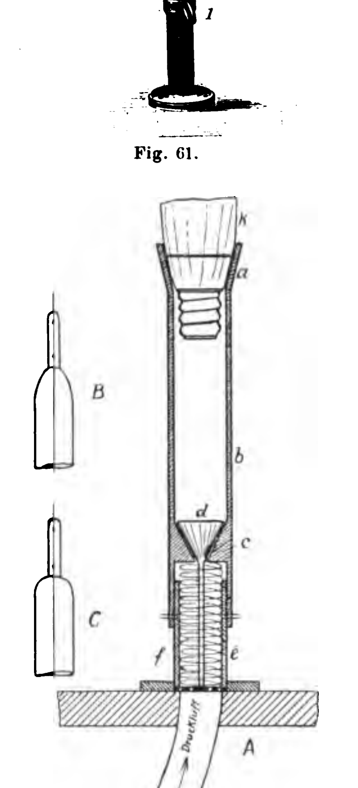


Fig. 61.

Fig. 62.

Ist der Teller nun in der beschriebenen Weise in der Zange befestigt worden, so werden nun die Elektroden eingeführt derart, daß die Platindrähtchen mit den Lötstellen ganz im Glase liegen (Fig. 60). Die Zange *2* (Fig. 61) samt Teller und Elektroden werden nun auf den Roller *1*, der ähnlich wie der Roller zur Herstellung der Teller konstruiert ist, aufgelegt derart, daß der Teil $x\ x_1$ (Fig. 59) in den Treffpunkt der Stichflammen des Kreuzfeuers kommt. Mit der Hand wird die Zange nun gerollt, bis der Teil $x\ x_1$ verschmolzen ist. Hierauf wird die Zange aus dem Feuer genommen, die Schmelzstelle $x\ x_1$ mit einer geeigneten flachen Pinzette zusammengequetscht, nochmals ganz kurze Zeit ins Feuer gegeben und nun der Fuß vermittels der durch den Aufbläser (Fig. 62 *A*) kommenden Druckluft aufgeblasen. Es hat sich in der Praxis gezeigt, daß derart hergestellte Füße, die nach dem Quetschen die Form *B* (Fig. 62)

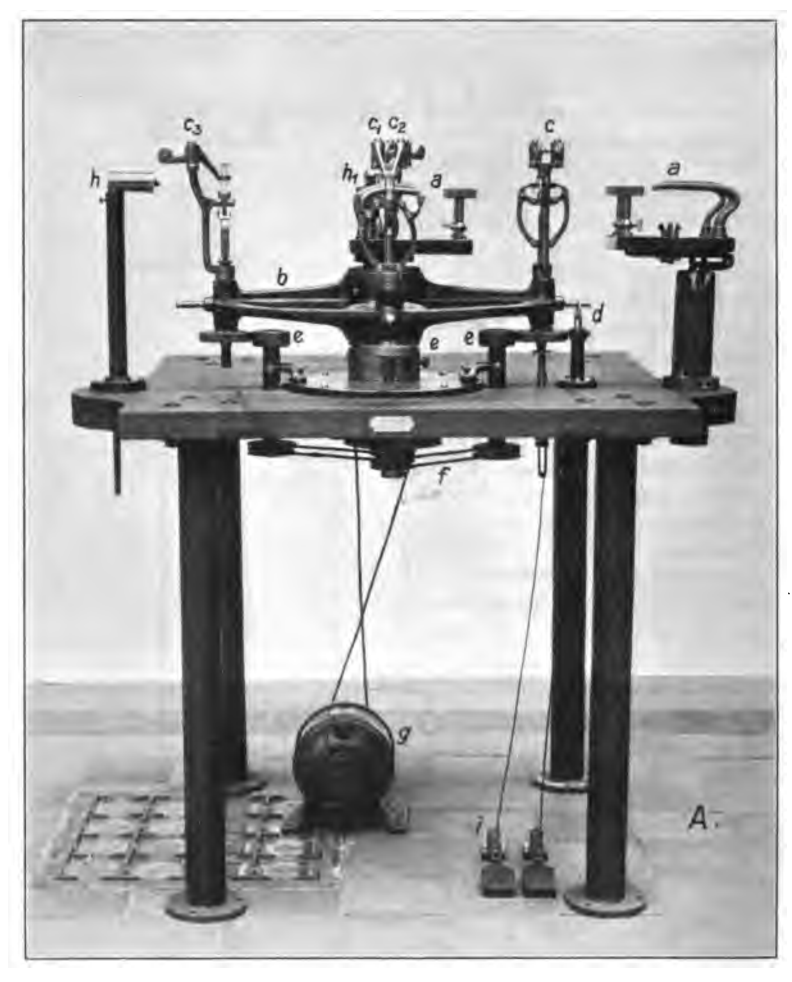


Fig. 63 A.

annehmen, sehr leicht beim Abkühlen platzen oder Sprünge bekommen. Dieser Übelstand wird vollständig vermieden, wenn der Fuß durch Aufblasen die Form *C* erhält, wenn ihr, wie der Glastechniker sagt, die Spannung genommen wird. Dieses Auf-

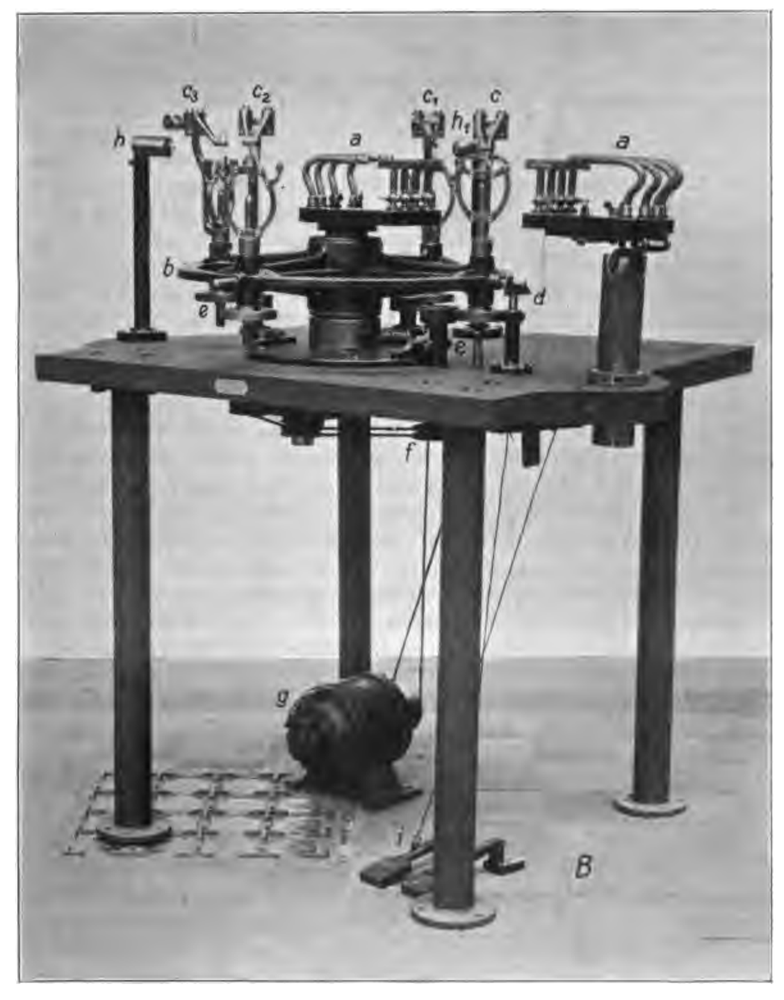


Fig. 63 B.

blasen nun wird mit dem erwähnten Aufbläser (Fig. 62 *A*) vorgenommen. Nach dem zweiten Erwärmen des Fußes im Gebläse wird die Zange mit dem Handgriff *k* auf die genau passende trichterförmige Erweiterung *a* des Rohres *b* auf-

gedrückt, so daß der die Druckluft abschließende Konus *d*, welcher vermittels der Spiralfeder *f* dicht an die Flächen *c* angedrückt ist, frei gemacht wird, so daß die Druckluft jetzt durch die Röhren *h* und *f* (Fig. 59) nach dem Fuß gelangen kann.

In der neuesten Zeit sind auch Maschinen konstruiert worden, die das Einschmelzen der Drähte und Quetschen der Füße selbsttätig ausführen und infolge der Anordnung der Maschine eine erhöhte Leistungsfähigkeit bedingen. Die Maschinen, in bester Ausführung von Köppe & Schulz, Berlin, angefertigt, verrichten das Drehen der Teller im Kreuzfeuer und das Quetschen der Füße vermittels einer sinnreichen Vorrichtung selbständig, haben aber den Nachteil, daß die gequetschten Füße nicht aufgeblasen werden können. Die Folge davon ist, daß ein gewisser Prozentsatz an gesprungenen Füßen erzeugt wird, ein Fehler aber, der reichlich durch die gewaltig gesteigerte Leistungsfähigkeit naturgemäß wieder wett gemacht wird. In den Figuren 63 *A* und *B* ist eine derartige Maschine in verschiedenen Stellungen gegeben, während die Figuren 64 *A*, *B* und *C* das Arbeiten der Maschine schematisch vorführen sollen. Die Maschine besteht aus einem achtfachen Kreuzfeuergebläse *a* und einem drehbaren Eisenrad *b*, auf welchem in gleichen Abständen die vier Quetschvorrichtungen c, c_1, c_2 und c_3 angebracht sind. Vermittels der Arretierungsvorrichtung *d* wird bewerkstelligt, daß immer ein Quetscher mit dem daran befestigten Teller genau im Mittelpunkt des Kreuzfeuers steht, die sämtlich mit Hilfe der Friktionsräderanordnung *e* und des Seilgetriebes f in Rotierung versetzt werden. *h* und h_1 sind schwache Gebläse, die zur Anwärmung vor dem Quetschen dienen, ehe sie in das Kreuzfeuer gelangen. Die Arbeitsweise ist nun folgende: Bei c_2 werden die Teller in die Quetschvorrichtungen eingespannt und gleichzeitig die Elektroden eingeführt. Durch eine Vierteldrehung gelangt der Fuß nach c_3 und nach einer weiteren Drehung nach c_1, wo vermittels der Gebläse *h* und h_1 eine vorläufige Anwärmung erfolgt. Schließlich gelangt er nach *c* in das Kreuzfeuer, wird dort nach erfolgter Schmelzung durch eine entsprechend angeordnete Hämmervorrichtuug gequetscht und gelangt wieder nach c_2, wo er abkühlt und durch einen neuen Fuß ersetzt wird. Das Einklemmen und Quetschen der Füße ist aus Fig. 64 *B* und *C* ersichtlich. *C* zeigt uns die Hämmervorrichtung zum Quetschen, die dadurch erfolgt, daß die ver-

mittels von Scharnieren an dem System *a* befestigten Hämmer *b* durch eine Zugbewegung, bewirkt durch Aufdrücken *i* (Fig. 63), in die punktierte Stellung gelangen.

Ist nun das Quetschen und Aufblasen der Füße erfolgt, so werden die Füße in einer ähnlichen Vorrichtung, wie sie

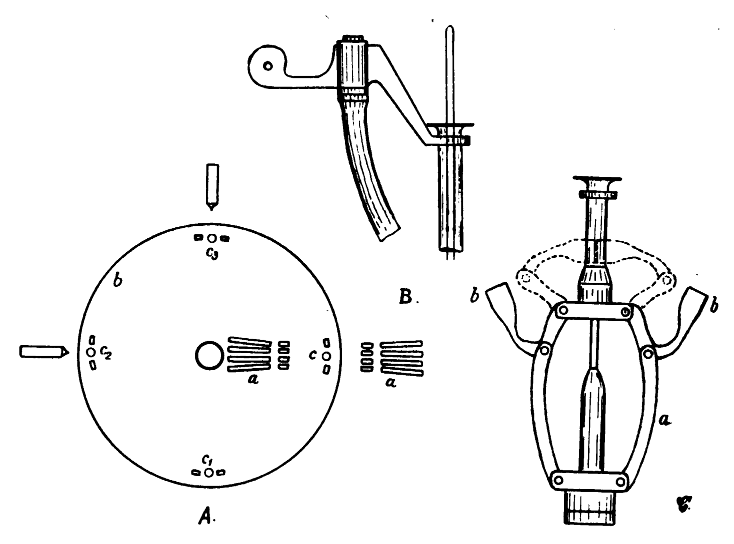


Fig. 64.

in Fig. 96 zur Abkühlung der eingeschmolzenen Füße in die Lampenglocken benutzt wird, einer langsamen Abkühlung unterworfen. Sie sind nun fertig zur weiteren Verarbeitung; nachdem sie nochmals auf Sprünge und Drahtbrüche untersucht worden sind, kommen sie, zur besseren Kontrolle und sicheren Aufbewahrung am besten auf mit entsprechenden Stiften versehenen Brettchen zu 50 oder 100 Stück aufgereiht, in die Abteilung, in welcher die Befestigung der Kohlen an die Elektroden vorgenommen wird.

V. Das Befestigen oder Montieren der Kohlenfäden an die Elektroden.

Um die Stromzuführung von den Zuleitungsdrähten nach der Kohle zu bewirken, ist es nötig, eine gute, leitende Verbindung zwischen beiden zu bewerkstelligen. Dies ist für die Erzeugung guter Lampen ein sehr wichtiger Punkt, dem recht sorgfältige Beachtung geschenkt werden muß. Sind die sogenannten „Kittstellen“ oder „Kittknoten“ nicht fest und hart, so ergeben sich bei den weiteren Fabrikationsstufen sehr mannigfaltige Übelstände, die später näher bezeichnet werden sollen. An eine gute Kittstelle, gleichviel, nach welcher Methode sie hergestellt worden ist, werden etwa folgende Anforderungen gestellt:

1. Eine gute Leitfähigkeit, um sonst eintretende schädliche Übergangswiderstände zu vermeiden.
2. Eine genügend große Festigkeit, damit beim Einschmelzen der Kohlen in die Lampen möglichst Bruch vermieden wird und beim späteren Ein- und Ausschalten der Lampe ein nachträgliches Lockern der Kittstellen unmöglich wird.
3. Die Verbindungsstellen müssen hohe Temperaturen aushalten, ohne zu verdampfen und ohne schädliche, das erreichte Vakuum verschlechternde Gase abzugeben.
4. Sie dürfen nicht hygroskopisch sein, da sonst die vorher harten Knoten wieder gelockert werden und anderenfalls das enthaltende Wasser im Vakuum wieder verdampft und hierbei unschöne Flecken an den Birnen erzeugt.
5. Die Verbindungsstellen müssen genügend groß dimensioniert sein, da sonst infolge der vom glühenden Kohlenfaden ausgehenden Wärmeableitung dieselben mit ins Glühen geraten und hierdurch eine allmähliche Lockerung und Zerstörung derselben hervorgerufen wird. Dies tritt ganz besonders leicht auf bei hochkerzigen Lampen, d. h. bei solchen, bei denen ein sehr starker Kohlenfaden den Glühkörper bildet.

Man unterscheidet nun bei der Herstellung der Verbindungsstellen zwischen Elektroden und Kohle zwei verschiedene Arbeitsweisen:

I. die Herstellung der Kittknoten auf mechanischem Wege, z. B. mit Hilfe von den älteren Anklemmvorrichtungen und den neueren Kittverfahren, und

II. das sogenannte „Anpräparier"- oder „Einbrenn"verfahren, d. h. Herstellung der Verbindungsstellen auf chemisch-elektrolytischem Wege.

Es sei hier gleich bemerkt, daß die vorher erwähnten Fehlerquellen leichter durch das Einbrennverfahren als durch das Kittverfahren vermieden werden können, da hierbei die beste, festeste und sicherste Verbindung erzielt wird. Trotzdem ist jetzt das Kittverfahren mehr in Anwendung, einesteils wohl, weil es erheblich billiger ist, andernteils weil die Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens in bezug auf Quantität erheblich größer ist. Das Anpräparierverfahren wird heute mit wenig Ausnahmen fast nur noch zum Befestigen hochkerziger Glühfäden angewendet.

A. Die Befestigung der Kohlenfäden vermittels der mechanischen und Ankittverfahren.

In den älteren Zeiten der Glühlampenfabrikation wurden die Fäden durch bloßes Anklemmen mit den Zuleitungsdrähten verbunden. So zeigen z. B. die ersten Swanlampen eine mechanische Befestigung derart, daß die Enden des Kohlenfadens in ein geschlitztes Röhrchen aus Platin eingesteckt und nun mit Hilfe eines nach Art eines Schiebebleistiftes darüber geschobenen Ringes aus gleichem Metall fest angepreßt wurden (Fig. 65).

Maxim und Weston verwendeten in ähnlicher Weise ein Platinröhrchen, welches an den Zuleitungsdraht angelötet war und ein Schräubchen trug. Die Schenkel der Fäden wurden in die Röhrchen gesteckt und mit Hilfe der Schräubchen befestigt. Ähnliche Befestigungsarten wurden damals mehrfach benutzt und zeigten natürlich sehr große Mängel. Infolge des oftmaligen Heiß- und Kaltwerdens der Kohle beim Ein- und Ausschalten der Lampe wurde die an und für sich feste Verbindung sehr bald gelockert. Außerdem war es nicht

möglich, wie auch heute noch nicht, die in den Röhrchen haftenden Luftteilchen vollständig zu evakuieren, welche dann während des Brennens der Lampe allmählich heraustraten, das Vakuum verschlechterten und eine vorzeitige Zerstörung der Kohle hervorriefen.

Um die genannten Übelstände einigermaßen zu verhüten, verbesserte Lane-Fox[1]) die Befestigung folgendermaßen (Fig. 66): Lane-Fox stellte sich kleine 5—6 mm lange Kohlenröhrchen her, steckte zuerst den Zuleitungsdraht in das eine Ende der mit Kitt ausgefüllten Röhre hinein und hierauf den Schenkel der Kohle in das andere Ende.

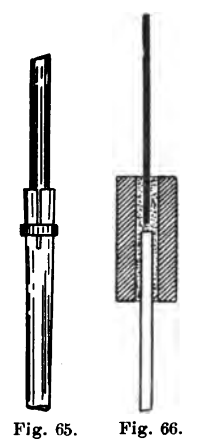


Fig. 65. Fig. 66.

Der Kitt bestand aus einer Mischung von chinesischer Tusche und einer dicken Dextrinlösung. Hierauf wurde das Kohlenöhrchen mit einer kleinen Stichflamme zur Rotglut erhitzt, um das Trocknen und Verkohlen desselben zu bewirken. Wenngleich auch die hierbei erzielte Festigkeit der Verbindung eine wesentlich bessere war als bei den vorher beschriebenen Methoden, so ließen sich diese Lampen noch schwerer luftleer machen und zeigten dabei noch eine größere Tendenz, unbrauchbar zu werden. Abgesehen von der natürlichen Porösität der verwendeten Kohlenröhrchen, wurden beim Ausglühen infolge der zuerst eintretenden Ausdehnung des Kittes und durch die Gasbildung beim Verkohlen des Dextrins eine Unmenge kleiner luft- und gaserfüllter Hohlräume geschaffen, die die Erzeugung des notwendigen absoluten Vakuums nicht gestatteten.

Nachdem man die völlige Wertlosigkeit dieser Befestigungsmethoden erkannt hatte, suchte man die Entstehung von lufthaltigen oder porösen Hohlräumen beim Kitten möglichst zu vermeiden. Um dies zu erreichen, wurde zunächst der aus Platin bestehende Stromzuführungsdraht am Ende zu einem Plättchen breit geschlagen und zu einer nicht ganz geschlossenen Hülse umgebogen. Nachdem das untere Ende des Kohlenfadenschenkels in die Hülse geschoben worden war, wurde ein entsprechender Kitt aufgetragen und die Hülse mit

[1]) D.R.P. 18217 vom 4. August 1881.

einer Pinzette fest zugedrückt. Nach einem gelinden Vortrocknen (etwa 150—200 ° C) wurde die Kittstelle mit einer

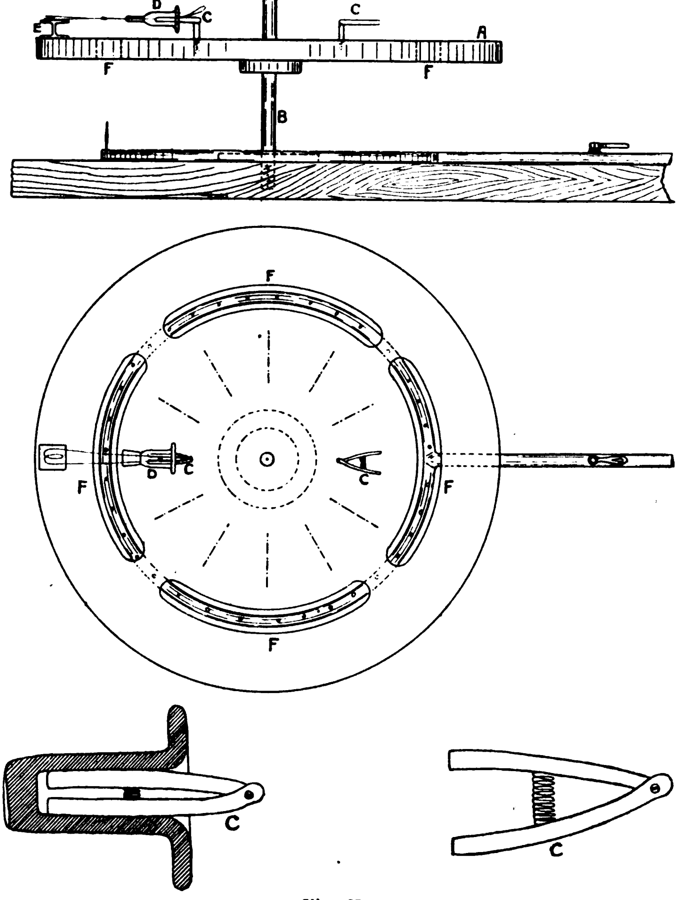


Fig. 67.

kleinen Stichflamme vorsichtig ausgeglüht. Später noch verwendete man die am Ende der Zuleitungsdrähte in der schon beschriebenen Weise hergestellten geschlossenen Hülsen, die in ihrer lichten Weite nur um ein geringeres größer waren

als die Kohlenfäden. Aber auch hier ist ein Einschließen von Luftbläschen auch beim sorgfältigsten Arbeiten nicht immer zu vermeiden, so daß ein Zersprengen und Lockermachen der Kittknoten beim Ausglühen nicht ausgeschlossen ist. In der Tat kittet man die Fäden jetzt meist direkt an die runden massiven Elektroden an; höchstens bedient man sich kleiner runder Ösen, die an den Enden der Elektroden angebogen sind, und bei denen ein Kitten von beiden Seiten möglich ist. Bei der Benutzung massiver Elektroden ist es rätlich, den vordersten Teil, der mit Kitt bedeckt ist, mit kleinen Rillen zu versehen, um ein besseres Anhaften des Kittes zu ermöglichen.

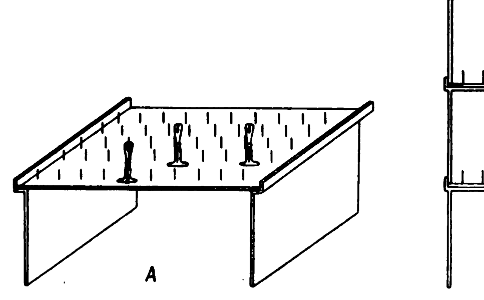
Fig. 68.

Das heutige Ankittverfahren gestaltet sich ziemlich einfach und wird etwa folgendermaßen ausgeführt.

Um ein rasches und sorgfältiges Ankitten zu ermöglichen, bedient man sich jetzt allgemein eines Kittapparates oder Kittbrettes. Einer der einfachsten Apparate ist in Fig. 67 dargestellt und sei hier beschrieben.

A ist eine um den Träger *B* drehbare Hartholzscheibe, die ringsum in gleichen Abständen mit den Klemmen *C* zum Halten der Füßchen *D* besetzt ist. Außerdem trägt die Scheibe kleine Stützen *E*, die entsprechend den Klemmen *C* angeordnet sind, und die eine ruhige sichere Lage der Kohlenfäden beim Kitten bezwecken. In dem Brett sind entsprechende Ausschnitte *F* angebracht, unter denen kleine Gasflämmchen derart in Form eines Schlangenbrenners *G* angeordnet sind, daß die aufstrebende heiße Luft die noch feuchten Kittstellen so weit trocknet, so daß ein Abfallen der Fäden nicht mehr möglich ist. Das Füßchen *D* wird nun auf die Klemme *C* gesteckt, die Elektrodenenden mit dem Kitt bestrichen und nun die Schenkelenden der Kohle derart in den Kitt gesteckt, daß etwa 1 — 1,5 mm der Elektrode als auch des Fadens damit bedeckt ist (Fig. 68). Zum Schluß werden etwaige nicht bedeckte Stellen nochmals mit Kitt umhüllt, so daß ein möglichst gleichmäßiger ellipsenförmiger Knoten entsteht. Das Kitten selbst wird am besten mit Hilfe eines kleinen nicht haarenden Pinsels oder einer zweckentsprechenden Nadel ausgeführt. Hierauf wird das Brett bis zur nächsten Klemme gedreht und nun in der beschriebenen Weise verfahren, bis sämtliche Klemmen mit Füßchen und angekitteten Kohlen ver-

sehen sind. Die Füßchen werden nun, nachdem die Kittknoten so weit getrocknet sind, daß sie ohne Gefahr heruntergenommen werden können, auf den sogenannten Trockenbrettern (Fig. 62 *A* und *B*) aufgereiht. Diese bestehen aus Eisenblechen, die mit Eisenstiften oder Röhrchen zur Aufnahme der Füße versehen sind. Gewöhnlich werden diese Trockenbretter so konstruiert, daß sie 50 Füße aufnehmen können und etagenweise übereinandergesetzt werden können. So vorbereitet kommen nun die Kohlen in einen Trockenofen, der mit Gas geheizt wird, zum weiteren Trocknen. Dieses Trocknen soll so geschehen, daß ein langsames Zusammenbacken begünstigt und



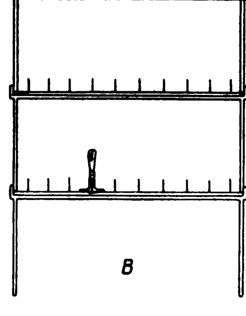


Fig. 69.

die meisten verdampfbaren schädlichen Substanzen entfernt werden. Man hat deshalb die Vorsicht zu gebrauchen, möglichst langsam in der Temperatur hoch zu gehen, um ein allmähliches Entweichen der gasförmigen Bestandteile aus den Kittknoten zu veranlassen, da eine plötzliche rapide Temperatursteigerung eine lebhafte Gasentwicklung und damit ein mehr oder weniger starkes Zertrümmern der Knoten hervorruft. Im allgemeinen dauert ein derartiges Trocknen etwa 1—1 $^1/_2$ Stunden, und es beträgt die Endtemperatur etwa 250° C.

Bei dieser Temperatur war es natürlich nicht möglich, alle schädlichen Substanzen zu vertreiben oder organische Bindemittel des Kittes, z. B. Teer, vollkommen zu verkohlen. Es ist deshalb ein nochmaliges scharfes Ausglühen des Knotens etwa bis zur dunklen Rotglut unbedingt erforderlich. Dieses hat natürlich in sehr vorsichtiger Weise zu geschehen, damit

nicht der Kittknoten oder der Kohlenfaden darunter leidet. Man verfährt deshalb am besten nach der in Fig. 63 angedeuteten Weise. Mit einer kleinen Stichflamme erhitzt man die Elektrode einige Millimeter hinter dem Kittknoten und schreitet nun langsam bis dicht an denselben vor, bis derselbe für einen Moment in dunkle Rotglut gebracht worden ist. Damit ist das Ausglühen beendet. Auf diese Weise erreicht man ein vorsichtiges Anwärmen und Glühen des Knotens, ohne daß der Kohlenfaden in Mitleidenschaft gezogen werden kann.

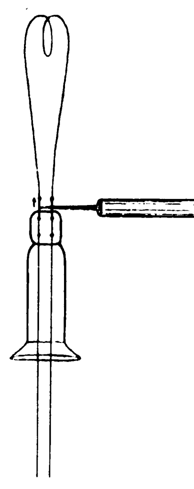


Fig. 70.

Was den zur Verwendung gelangenden Kitt anbelangt, so war es nicht leicht, ein allen Anforderungen genügendes Präparat herzustellen. Die notwendigen Eigenschaften eines guten brauchbaren Kittes sind schon zu Anfang dieses Abschnittes ausführlich angegeben worden, die natürlich nicht in der gewünschten Weise sofort erzielt werden konnten. Man hat die verschiedensten Kohlensorten, wie Lampenruß, Graphit, Tusche usw. ebenso Metalle und Gemische derselben mit Kohle verwendet. Als Bindemittel wurden verwendet Teer, Gummilösungen, Dextrin und dergleichen. Eine richtige Zusammensetzung aber hat dem Glühlampentechniker sehr viele Schwierigkeiten bereitet, und heute noch stellen sich oft Mängel ein, die man versucht vollständig auszumerzen. In folgendem sollen nun einige der bewährtesten Rezepte angegeben werden, die fast allgemein eingeführt sind, hier und da jedoch geringe Abweichungen in der Zusammensetzung aufweisen. Es sei hier gleich bemerkt, daß die Zusammensetzung der Kitte, das heißt Art und Menge sowohl des Kohlepräparates als auch des Bindemittels, eine verschiedene Behandlung desselben beim Trocknen erfordern, die bei dem betreffenden Kitt kurz mit angegeben sei.

a) Kohlekitte.

1. Grafitborsäurekitt. 200 g gereinigter Grafit (ausgekocht mit Salzsäure zur Entfernung von Eisen und Erden) werden mit 40 g reiner pulverförmiger Borsäure innig

vermischt und in einem luftdicht verschlossenen Grafittiegel über dem Gebläse zur Weißglut für längere Zeit erhitzt. Hierbei wird die Masse teigartig weich. Nach dem Erkalten wird die Masse aus dem Tiegel geschlagen und in einer Reibschale zu feinem Pulver zerrieben und nach weiterem Zusatz von 15 g reinem ausgelesenem Gummiarabikum in Pulverform nochmals innig vermischt. Dieses erhaltene Material wird am besten zur Trockenhaltung und zum Schutz gegen Staub in einem verschlossenen Gefäß aufbewahrt. Zum Kitten wird ein Teil dieses Pulvers mit der notwendigen Menge warmen, destillierten Wassers angerührt und der nun entstandene dicke Brei verwendet.

Die Kittknoten werden im Ofen bei 200 ° C vorgetrocknet und nochmals mit der Stichflamme recht vorsichtig ausgeglüht.

Diesem Kitt werden oftmals noch geringe Mengen einer konzentrierten Wasserglaslösung zugegeben, die aber nach Ansicht des Verfassers wegen der hygroskopischen Eigenschaften des Materiales eher schädlich als nützlich wirken.

2. Grafitteerkitt. Gereinigter Grafit (siehe unten) wird mit präpariertem Steinkohlenteer zu einer dicken Paste angerührt und, wie oben beschrieben, zum Kitten verwendet. Das Vertrocknen dieses Kittes geschieht bis 250—300 ° C und erfordert dann noch ein Nachglühen mit einer Stichflamme.

3. Karamelkohlekitt. Feiner Rohrzucker wird in einer Porzellan- oder eisernen emaillierten Schale bis nahe zur Verkohlung karamelisiert. Der Zucker schmilzt zuerst und nimmt hierbei eine honiggelbe Farbe an. Später entweichen dann stechende Gase, wobei die Masse immer dicker wird und schließlich eine schwarzbraune Farbe erhält. Um ein Anbrennen zu verhüten, muß während der ganzen Prozedur fleißig umgerührt werden. Die erhaltene Schmelze wird nun behufs schneller Erstarrung auf eine reine Metallplatte ausgegossen, in kleine Stücke geschlagen und nun in folgendem Verhältnis in destilliertem Wasser gelöst:

60 g Karamel zu 150 g Wasser.

Nicht verwendete Stücke Karamel müssen in einer luftdicht schließenden Flasche aufbewahrt werden, da die Schmelze bekanntlich stark hygroskopisch ist. Es ist beim Schmelzen und Erhitzen des Zuckers besondere Obacht darauf zu geben, daß die Temperatur nicht zu hoch gesteigert wird, da sonst die Karamellösung jegliche Klebekraft verliert. Andrerseits darf auch die Karamelisierung nicht unbeendet bleiben, da

dann zur vollständigen Verkohlung ein nochmaliges Ausglühen des Kittknotens erforderlich wäre.

5 Teile Dixons Kohlenpulver[1]) Nr. 1365 und
1 Teil Dixons präpariertes Grafit Nr. 649

werden nun fein vermischt und mit so viel Karamellösung angeknetet, daß ein dicker Brei entsteht. Die ganze Masse wird nun zur innigen Vermengung mehrere Male durch eine Mühle getrieben.

Nach einem anderen Rezept verwendet man

2 Teile Dixons Molding graphite und
1 Teil Dixons Polishing graphite Nr. 649.

Diese beide Arten Kitte haben sich in letzter Zeit fast überall eingeführt, da hierbei ein sehr dichter und fester Kittknoten entsteht. Ein besondrer Vorteil ist der, daß hier nur ein Trocknen bei etwa 300—325 ^{0} C erforderlich ist, ein nochmaliges Ausglühen mit der Stichflamme wegfällt.

4. Ein dem vorhergehenden sehr ähnliches Rezept ist folgendes: 500 g Zucker werden karamelisiert, dann 1000 bis 1500 g Dixons Grafit Nr. 1342 langsam hinzugegeben, bis eine steife Paste resultiert. Hierauf wird weiter erhitzt, bis keine Gasblasen mehr auftreten. Dieses Produkt wird verschlossen aufbewahrt und zum Gebrauch mit etwas destilliertem Wasser zum dicken Brei angerührt.

Ist man nicht ganz sicher, ob der vorhandene Grafit absolut rein ist, so kann man sich denselben selbst in einfacher Weise reinigen. Zu diesem Zweck werden etwa 50 g Grafit mit 100 g Ätznatron in einer Platinschale zusammengeschmolzen und die Schmelze einige Minuten zur Rotglut erhitzt. Hierauf wird die erkaltete Schmelze mit destilliertem Wasser ausgekocht und dieses Verfahren so lange fortgesetzt, bis die größte Menge des Ätznatrons entfernt ist. Auf diese Weise werden schädliche Bestandteile des unreinen Grafits, wie Kieselsäure, Thonerde usw., zum größten Teil entfernt. Hierauf wird das erhaltene Präparat mehrere Male mit konzentrierter Salzsäure ausgekocht, um Eisenoxyd und Oxyde der Fäden wegzulösen. Der nunmehr sehr reine Grafit wird hierauf sorgfältig filtriert, die Salzsäure weggewaschen und der Grafit getrocknet und geglüht. Auf diese Weise erhielt der Verfasser einen sehr reinen, gut brauchbaren Grafit, der, obwohl

---

[1]) Bezogen von Joseph Dixons Crucible Co., Jersey City, Newyork, U. S. A.

er anfänglich ca. 25 % Unreinigkeiten erhält, nur noch beim Verglühen etwa 0,1 % Aschenrückstand hinterließ.

Auch andere Methoden zur Reinigung des Grafits lassen sich mit Vorteil anwenden, z. B. Glühen des Grafits mit pulverförmigem, saurem, flußsaurem Ammon usw. Der Verfasser verweist hierbei auf Zellner, Fabrikation der Bogenlichtkohlen, Seite 20—25.

b) Metallkitte.

Auch reine Metalle in Pulverform werden als Bindemittel zwischen Elektrode und Kohlen verwendet und haben sich besonders bewährt bei der Herstellung der niedervoltigen Lampen.

So wird z. B. sehr gern ein Kitt benutzt, bestehend aus Platinstaub und menschlichem Speichel. Vorsichtig ausgeglüht resultiert hierbei eine sehr gute, leitende Verbindung.

Nach dem Patent von Joseph Plechati, Berlin-Pankow[1]), werden Aluminiumpulver oder Platinstaub mit so viel Gummiarabikumlösung vermischt, daß eine dicke Paste entsteht. Diese Paste wird auf die Verbindungsstellen aufgetragen, in einer Stichflamme erhitzt, damit das Bindemittel verkohlt und hierauf mit einer geeigneten Formzange das erhitzte Metallpulver fest zusammengepreßt.

In ähnlicher Weise werden nun auch Mischungen von Kohlen- und Metallpulvern verwendet, die, sofern ein geeignetes Metall gewählt wird, eine sehr gute Leitfähigkeit der Verbindungsstellen hervorrufen.

B. Die Herstellung der Verbindungsstellen auf chemischem (elektrolytischem) Wege; die Einbrenn- oder Anpräparierverfahren.

Wenngleich auch die angegebenen Kittverfahren fast allgemein Eingang in die Glühlampenfabrikation gefunden haben und bei sorgfältigem Arbeiten und peinlichster Einhaltung der notwendigen Vorsichtsmaßregeln harte und dichte Kittknoten ergeben, so zeigen sie doch noch mancherlei Mängel, die den mit dem Einbrennverfahren erzielten Verbindungsstellen nicht

[1]) D R.P. 141759 vom 8. Oktober 1901.

anhaften. In erster Linie sei hier erwähnt, daß trotz gewissenhaftester Auswahl und Reinigung der verwendeten Kohle- oder Grafitmaterialien die Kittstellen einen geringen Übergangswiderstand zeigen, der noch erhöht wird dadurch, daß infolge des pulverförmigen Zustandes des Knotens eine gewisse Porösität vorhanden ist. Weiter müssen die Kittknoten der meisten Methoden nochmals ausgeglüht werden, um ein absolut sicheres Vertreiben aller schädlichen Substanzen und Gase zu bewirken.

Diese genannten Übelstände werden vollkommen vermieden bei Anwendung der sogenannten Einbrennverfahren. Abgesehen davon, daß der nach Art des Präparierens von Kohlenfäden niedergeschlagene grafitartige Kohlenstoff in sehr feiner und dichter Form erhalten wird, brauchen die erhaltenen Präparierknoten nicht nachträglich ausgeglüht zu werden, wie die Kittknoten. Bei richtiger Anwendung der Einbrennmethoden schließen die erhaltenen Verbindungsstellen keine Gase ein und der erhaltene Kohlenstoff ist so rein, daß es in diesem Falle nur nötig ist, sie bei einer Temperatur zu trocknen, bei welcher die äußerlich anhaftenden Tröpfchen des verwendeten Kohlenwasserstoffes vollständig verflüchtigt sind. Hier ist demnach ein nachträgliches Poröswerden der Verbindungsstellen ausgeschlossen, ebenso eine bei unvorsichtigem Arbeiten infolge von Verbrennung mittels der Stichflamme eintretenden Beschädigung der dem Kittknoten naheliegenden Teile der Kohlenpräparierschicht. Auch der Übergangswiderstand vom Stromzuführungsdraht zum Kohlenfaden ist infolge der mechanischen und physikalischen Beschaffenheit des niedergeschlagenen Kohlenstoffes ein sehr geringer, da wir es hier mit äußerst dichter, grafitartiger Kohle zu tun haben. Was die Kosten anbelangt, so liegt allerdings der Vorteil auf seiten der Kittverfahren. Die naturgemäß größeren Kosten beim Einbrennverfahren werden aber reichlich wieder wett gemacht durch ein stark vermindertes Auftreten von Bruch an den Verbindungsstellen bei den weiteren Fabrikationsstufen und beim Brennen der Lampen beim Konsumenten.

Das Verfahren selbst, eine leitende Verbindungsstelle zwischen Stromzuleitungsdraht und Glühfaden durch elektrolytisch niedergeschlagenen Kohlenstoff herzustellen, gründet sich auf dasselbe Prinzip, wie zur Erzeugung der Präparierschicht auf den amorphen Glühfädenseelen (s. W e b e r, Kohlenglühfäden, S. 145). Ein durch den elektrischen Strom zur Weißglut erhitzter Draht aus Kohle oder Metall vermag in einer kohlen-

wasserstoffhaltigen Atmosphäre oder in einem flüssigem Kohlenwasserstoff Kohlenstoff abzuscheiden, und zwar richtet sich die Art und Menge des niedergeschlagenen Kohlenstoffes nach der Höhe der erzielten Temperatur und nach den Eigenschaften des Präpariermittels. Auf diese Verhältnisse wird noch näher eingegangen werden.

Dieses Anpräparierverfahren hat nun wie jede Phase der Glühlampenfabrikation sehr verschiedene Wandlungen durchgemacht und zuerst viele Mißerfolge gezeitigt. In der ersten Zeit plattete Edison die Enden der Zuleitungsdrähte löffelartig ab, bog den erhaltenen Löffel hülsenartig um und steckte das Ende des Kohlenfadenschenkels hinein. Hierauf wurde an dieser Stelle galvanoplastisch ein Niederschlag von Kupfer erzeugt. Ein ähnliches Verfahren verwendete Siemens & Halske[1], A.-G., Berlin, indem die flachgehämmerten Platinelektroden spiralförmig um den Kohlenfaden gelegt werden. Da es sich bei dem Edisonverfahren gezeigt hatte, daß das Kupfer nach kurzer Zeit durch Verdampfen die Birnen bräunte und daß das verdampfte Kupfer sich an den kälteren Stellen des Fußes absetzte und so eine leitende Verbindung zwischen den Stromzuführungsdrähten hergestellt wurde, so suchte diese Firma diese Übelstände zu vermeiden. Zu diesem Zwecke wurde nicht die ganze Platinspirale bis zum Berührungspunkt mit dem glühenden Kohlenfaden mit Kupfer überzogen, sondern es wurde der Teil an der unmittelbaren Berührungsstelle von Elektrode mit Glühfäden freigelassen. Man erzielte hierbei eine gewisse Abkühlung der verkupferten Stelle, die jedoch nicht genügend groß war, um ein Zerstäuben des Metalles gänzlich zu verhüten. Hier sei jedoch gern zugegeben, daß die Art der Verbindung an und für sich eine sehr gute war, was Festigkeit und geringen Stromübergangswiderstand anbelangt, zumal da jeder elektrolytische Niederschlag nur wenig schädliche okkulte Gase enthält.

Edison suchte nach diesen Mißerfolgen nach einem anderen Mittel und führte bald nachher den elektrolytischen Kohlenniederschlag ein. Zuerst wurden Kohlenwasserstoffdämpfe analog des Präparierverfahrens der Kohlenglühfäden verwendet. Da die Ablagerung des Kohlenstoffes hierbei aber nur langsam vonstatten ging und dadurch der Prozeß zu langwierig und teuer wurde, suchte man den Kohlenstoff-

[1]) D.R.P. 29816 vom 15. Juni 1884.

niederschlag rascher zu erzielen. Um diese Absicht zu erreichen, ließ man Leuchtgas durch leicht siedende flüssige Kohlenwasserstoffe, z. B. Benzin oder Gasolin, streichen und verwendete nun dieses angereicherte Gas. Dieses Verfahren führte auch nicht zu dem erwünschten Ergebnis, ebensowenig ein vor dem Einbrennen bewerkstelligtes Überziehen der Verbindungsstellen mit einem Kittbrei aus Grafit und einem geeigneten Bindemittel, obwohl beide Verfahren eine gewisse schnellere Niederschlagsfähigkeit zeitigten. Schließlich ging man zum Einbrennen in flüssigen Kohlenwasserstoffen über, welche in der ersten Zeit wegen seiner Gefährlichkeit nur schwer in Anwendung kam, jetzt aber ohne Gefahr in sicherer Weise in großem Maßstab ausgeführt wird. Im Grunde genommen sind die heutigen Einbrennverfahren nichts anderes als ein schnelles Präparierverfahren, nur die gegebenen Bedingungen sind etwas andere. Durch die glühende Verbindungsstelle wird der umgebende flüssige Kohlenwasserstoff verdampft, und aus dem Dampf wird nun erst die Kohle abgeschieden. Da hierbei aber immer neue reichliche Mengen Kohlenwasserstoffgas erzeugt werden, so ist leicht einzusehen, daß ein schnelles Absondern von Kohlenstoff die unmittelbare Folge sein muß.

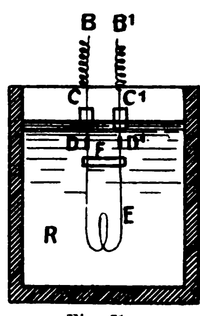


Fig. 71.

Die heutige Ausführungsanordnung dieses Einbrennverfahrens hat gegenüber den älteren Methoden keine wesentliche Abänderung erfahren, nur sind die verwendeten Apparate derart verbessert worden, so daß jetzt das Anpräparieren schneller und in weniger gefährlicher Weise vor sich geht. An dem einfachen Schema in Fig. 71 wird der Vorgang am besten veranschaulicht. *A* ist ein Gefäß, welches den verwendeten Kohlenwasserstoff enthält. *B* und B_1 sind die Stromzuführungsdrähte, welche die Flammen *C* und C_1 tragen zum Einklemmen der Elektroden *D* und D_1. Diese Elektroden sind für das Einbrennverfahren am besten mit Hülsen zum Einstecken des Kohlenfadens *E* versehen. Kurz unterhalb der Verbindungsstellen zwischen den Elektroden und den Schenkeln des Kohlenfadens ist eine metallene Klemme *F* angebracht. Der zum Einbrennen notwendige Strom geht nun durch *B* und *C* nach der Verbindungsstelle bei *D*, bringt diese

zum Glühen und Absondern von Kohlenstoff, geht weiter über F nach D_1, verrichtet dort dieselbe Arbeit und verläßt bei B_1 wieder den Apparat. Durch das Absondern des Kohlenstoffes

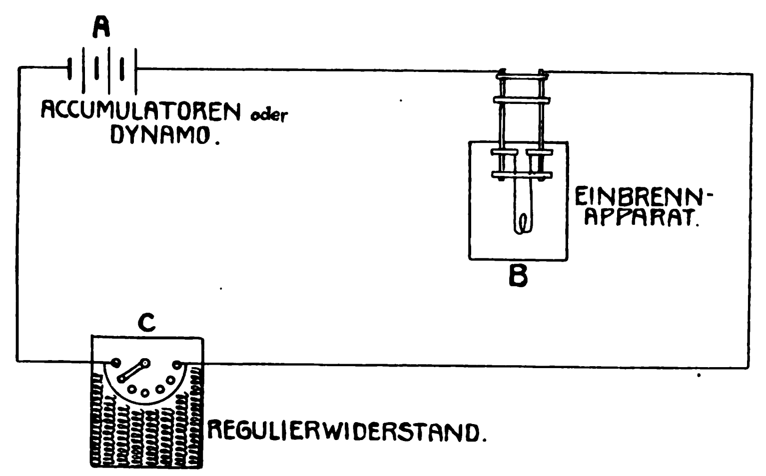


Fig. 72.

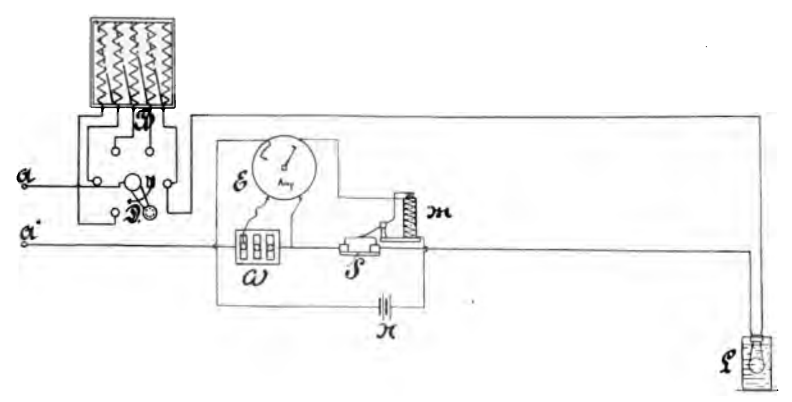


Fig. 73.

wird an den Verbindungsstellen der Querschnitt wesentlich vergrößert, so daß der elektrische Strom mit der bisher innegehabten Stärke nicht mehr ausreicht, den dicker und dicker werdenden Knoten bis zum gewünschten Grad zu erhitzen und

ein ebenso schnelles Ablagern von Kohlenstoff zu veranlassen. Es ist deshalb unbedingt erforderlich, die Stromstärke in gleichem Maße zu erhöhen, als das Dickerwerden der Einbrennknoten fortschreitet. Es muß deshalb eine Strommenge zur Verfügung stehen, die etwa das 3—4 fache der Anfangsstrommenge beträgt und die nun mit Hilfe eines Regulierwiderstandes allmählich verstärkt werden kann. Es ist aus diesem Grunde die in Fig. 72 schematisch gegebene Anordnung erforderlich.

A ist die Stromquelle. Hier sei gleich bemerkt, daß man als Stromquelle gewöhnlich Akkumulatoren oder auch einen Gleichstromdynamo von 30—40 Volt Spannung benutzt. Ebenso ist auch transformierter Wechselstrom gleicher Spannung verwendbar. *B* ist der Einbrennapparat und *C* der zur beliebigen Verstärkung des Stromes notwendige Regulierwiderstand. Das Verstärken des Stromes, entweder durch Zuschalten von Akkumulatorenzellen oder durch Ausschalten von Widerständen, geschah nun anfänglich mit der Hand. Es war also die Erzielung der richtigen Glühtemperatur an den Verbindungsstellen abhängig von der Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit des Arbeiters. Dieser Übelstand wurde sehr bald beseitigt durch zweckentsprechende Einrichtungen, die ein selbsttätiges Verstärken des Stromes ermöglichten. Aus der Fülle der im Gebrauch befindlichen Anordnungen sei nur die der Firma E. A. Krüger & Friedeberg, Berlin[1]), angeführt und in Fig. 73 schematisch dargestellt.

B ist ein Widerstand, welcher durch Drehen der Kurbel *D* im Sinne des Pfeiles nach und nach aus dem Stromkreis $ABLA_1$ ausgeschaltet werden kann. *E* ist ein Kontakt-Ampèremeter mit dem zugehörigen Nebenschlußwiderstand *W*, das bei bestimmter Stromstärke den Elektromagneten *M* eines selbsttätigen Schalters *S* in den Stromkreis einer beliebigen Stromquelle *N* einschaltet. Der Elektromagnet *M* zieht seinen Anker an und öffnet dadurch den Schalter *S*. Die Stromstärke, bei der die Unterbrechung des Arbeitsstromes erfolgen soll, kann an dem Kontakt-Ampèremeter beliebig eingestellt werden.

Der Arbeitsvorgang ist nun folgender: Der Glühlampenfuß wird bei *L* in das Kohlenwasserstoffbad eingehängt, während der Schalter *S* geöffnet ist. Die Kurbel *D* des Widerstandsschalters wird von irgend einer äußeren Kraft,

[1]) D.R.P. 141908 vom 16. Juli 1902.

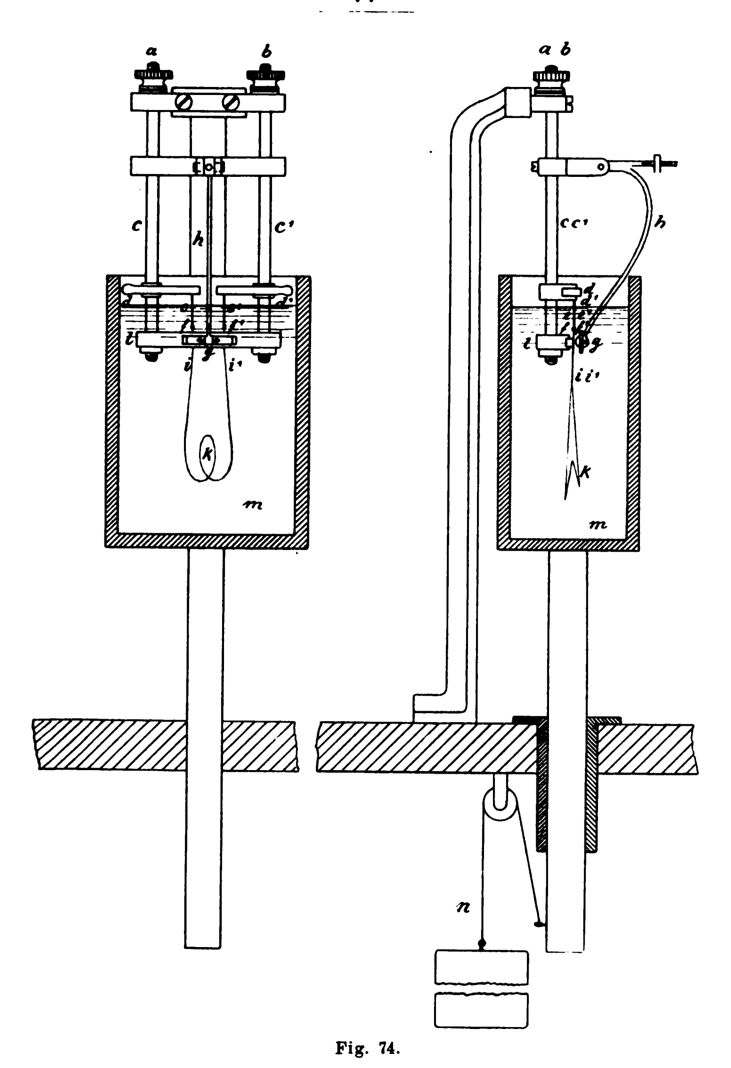


Fig. 74.

z. B. mittels eines kleinen Motors usw., ständig angetrieben. In dem Augenblick, in dem sich die Kurbel D in der Nullstellung befindet, wird der Schalter S von der Hand geschlossen. Dieser Zeitpunkt kann zweckmäßig durch ein beliebiges optisches

oder akustisches Signal angezeigt werden. Während des Einbrennvorganges kann der Arbeiter einen neuen Glühlampenfuß vorbereiten. Bei der Drehung der Kurbel *D* wird der den Glühlampenfuß *L* durchlaufende Strom durch allmähliches Ausschalten des Widerstandes so lange verstärkt, bis der selbsttätige Ausschalter in Funktion tritt. Hierauf wird der fertige Fuß *L* durch einen neuen ersetzt, und das Spiel wiederholt sich, indem der Schalter *S* wieder von Hand geschlossen wird, wenn sich die Kurbel *D* in Nullstellung befindet.

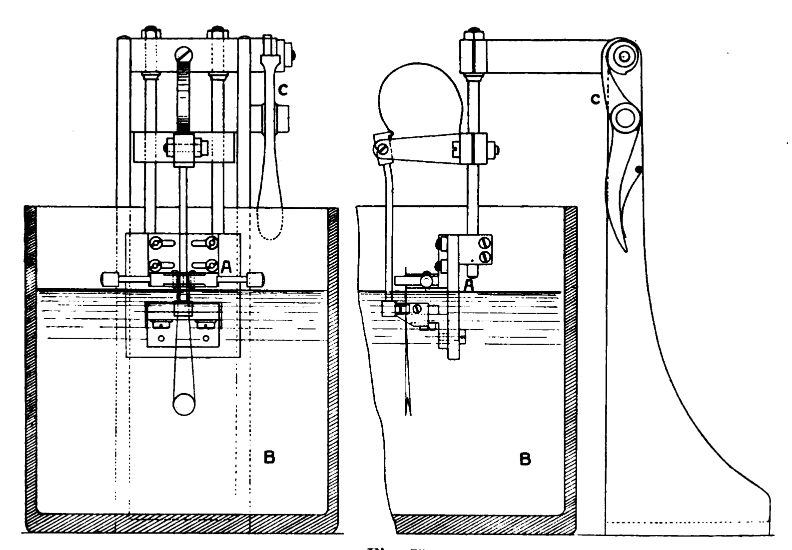


Fig. 75.

In folgendem sollen nun einige moderne Anpräparierapparate beschrieben werden, die ein schnelles und sicheres Arbeiten gestatten. Die Apparate bestehen im allgemeinen aus zwei Hauptteilen: dem Behälter zur Aufnahme des Kohlenwasserstoffes und dem eigentlichen Anpräparierapparat, auch Einbrenn- oder Lötzange genannt. In Fig. 74 ist ein derartiger einfacher Apparat in Vorder- und Seitenansicht dargestellt. *a* und *b* sind die Stromzuführungen. Der Strom tritt bei *a* ein, geht durch die Stange *c* nach der Klemme *d* und von da nach der mit einer Hülse versehenen Nickel- oder Platinelektrode *e*. Die Verbindungsstelle zwischen Elektrode

und Kohlenfaden ist bei *f*, welche nun vermittels des Stromes zum Glühen gebracht wird. Der Strom geht hierauf durch den Stahlbügel *g*, der vermittels der drehbaren Feder ***h*** fest an die Schenkel ***i*** und i_1 des Kohlenfadens ***k*** an die isolierte Stange *l* angedrückt wird. Hierauf verläßt der Strom durch f_1, e_1, d_1, c_1 und *b* den Apparat. Um den fertig anpräparierten Fuß bequem herausnehmen zu können und durch einen neuen zu ersetzen, wird der Flüssigkeitsbehälter ***m*** vermittels der Hebe- und Senkvorrichtung ***n*** gesenkt, so daß der Einbrennapparat frei zu liegen kommt.

Andere Apparate sind so konstruiert, daß das Flüssigkeitsbad feststeht und die Lötzange gehoben und gesenkt werden kann. Eine derartige Einrichtung zeigt z. B. der in Fig. 75 dargestellte Apparat, der in bester Ausführung von der Firma Arthur Pfeiffer in Wetzlar hergestellt wird. Das Heben und Senken der Lötzange *A* aus dem Flüssigkeitsbehälter *B* wird mit der Klinkvorrichtung *C* bewerkstelligt. Die übrige Anordnung ist der vorherigen ganz ähnlich.



Fig. 76.

In den Figuren 76 und 77 sind Einbrennapparate dargestellt, wie sie von der bekannten Firma Joh. Prigge, Augsburg-Lechhausen, konstruiert worden sind. Fig. 76 zeigt eine zur Aufnahme der Elektroden mit den Kohlenfäden bereite Lötzange, während in Fig. 77 eine Anordnung gegeben ist, die ein gleichzeitiges Einbrennen von acht Kohlenfäden in einem gemeinschaftlichen Behälter gestattet.

Es sei nun hier noch einiges über die Installation der vorerwähnten Einbrennapparate gesagt. Da bei dieser Arbeit Kästen oder Behälter, die mit Flüssigkeiten angefüllt sind, zur Verwendung gelangen, so ist es rätlich, die Arbeitstische, welche sehr bald durch überspritzende Flüssigkeit ein unsauberes Ansehen erlangen würden, mit Eisen- oder Zinkblech zu beschlagen, um die Reinigung zu erleichtern. Die Einbrennbehälter zur Aufnahme der flüssigen Kohlenwasserstoffe bestehen zumeist aus Eisen- oder Zinkblech oder besser noch aus gut glasierten Ton- oder Porzellangefäßen. Bei Anwendung

von metallenen Behältern ist besondere Obacht darauf zu geben, daß dieselben nirgends Lötstellen besitzen, die beim eventuellen Eintreten eines Brandes des Kohlenwasserstoffes undicht werden könnten und so durch Ausfließen der brennenden Flüssigkeit Veranlassung zur Ausdehnung des Brandes geben würden. Aus



Fig. 77.

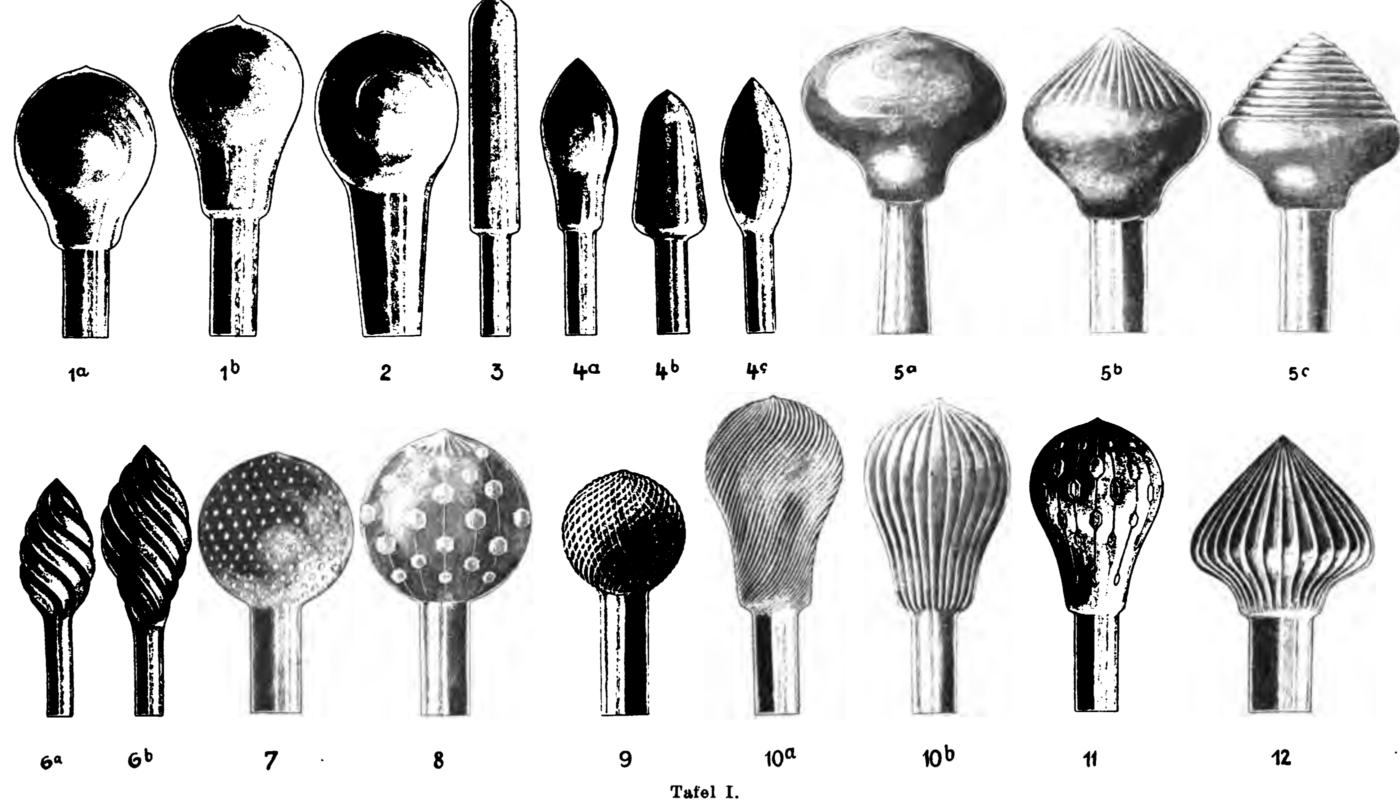
diesem Grunde ist es auch praktisch, kleinere besondere Behälter für je einen Einbrennapparat zu verwenden. Ganz unerläßlich sind auch metallene Kästen, die bei der Entzündung des Einbrennbades über den ganzen Apparat gestülpt werden und so durch Abschneiden der Luftzufuhr den Brand ersticken. Kaum erwähnenswert ist wohl, daß sämtliche Leitungsdrähte der Anlage aufs beste isoliert werden müssen. Um die bei der Arbeit entwickelten Dämpfe und Verbrennungsgase un-

schädlich zu machen, empfiehlt es sich, gute Abzugsvorrichtungen mittels eines kräftigen Exhaustors in geeigneter Weise anzubringen.

Was die verwendbaren Kohlenwasserstoffe anbelangt, so ist nicht jeder für eine rationelle, bequeme Arbeitsweise und zur Erzielung guter, dichter Niederschläge geeignet. Es kommt hauptsächlich darauf an, daß der abgeschiedene Kohlenstoff in der dichten, grafitartigen Modifikation, ähnlich wie beim Präparieren der Kohlenfäden, als Kittknoten erscheint, nicht aber in der losen, rußartigen Form. Die reinste und schnellste Ablagerung erzielt man beim Einbrennen mit Benzin, welches aber wegen seiner Feuergefährlichkeit für sich allein nicht verwendbar ist. Dasselbe ist zu sagen von Ligroïn, Gasolin und dergleichen leicht siedenden Kohlenwasserstoffen. Vegetabilische Öle, z. B. Lein- und Olivenöl, bewirken auch einen harten Niederschlag, eignen sich aber gar nicht zum Einbrennen von dünnen Kohlenfäden, da sie zu dickflüssig sind. Außerdem entwickeln sie bei der Arbeit einen unerträglichen Geruch. Auch Terpentinöl ist nicht geeignet, da der, obschon schnell erzielte, Niederschlag sehr porös ist. Am besten haben sich bewährt natürliche oder künstliche Gemische von leichten und schweren Kohlenwasserstoffen. So benutzt man z. B. in England und Amerika mit Vorteil ein Gemisch von 4 Teilen Keroseneoil und 1 Teil Terpentinöl. Dieses Gemisch ist absolut nicht feuergefährlich, da eine heiße Mischung desselben nicht mit einem brennenden Zündholz entflammbar ist. Die erzielten Kittstellen sind dicht und fest und werden in sehr kurzer Zeit bewerkstelligt. In neuerer Zeit verwendet man auch Rohpetroleum, eine dunkle Flüssigkeit, die variable Mengen Mineralöle von verschiedener Dichtigkeit und Präparierfähigkeit enthält. Ebenso verwendbar sind Gemische von Petroleum mit Benzin oder Benzol. Ganz hervorragend gute Eigenschaften zeigt das Toluol oder Gemische dieses Körpers mit schweren Kohlenwasserstoffen und Mineralölen.

VI. Das Einschmelzen der Tellerfüße mit den Kohlen in die Birne.

Wie jede Fabrikationsstufe bei der Herstellung der elektrischen Glühlampe, bedingt auch das Einschmelzen der Füße in die Glasbirnen ein äußerst sorgfältiges Arbeiten. Es handelt sich hierbei darum, den Tellerfuß nach entsprechender Vorbereitung des Glasballons mit diesem derart zu verschmelzen, daß eine sichere, nicht springende und absolut luftdichte Verbindung zwischen Teller und Hals der Birne hergestellt wird. Hierbei ist zu beachten, daß, um ein symmetrisch schönes Aussehen der Lampe hervorzurufen, die Dimension des Fußes und die Form der Kohle bei Verwendung einer bestimmten Birnengröße derart gewählt sein muß, daß die Mitte der Kohlenspirale möglichst genau in der Mitte der weitesten Stelle der Birne steht. Ausführliches über die Anordnung der Kohle in der Lampe siehe: Weber, Die Kohlenglühfäden, Seite 141—145. Verlag Dr. Max Jänecke, Hannover 1907. Was die Form der verwendeten Lampenkörper anbelangt, so werden jetzt am meisten etwa folgende in der Tafel I gezeichneten Typen zur Herstellung der gewöhnlichen Lampensorten benutzt: Birnen-, Kugel- und Röhrenlampen (Tafel I 1, 2 und 3). Zum Verständnis sei hierbei bemerkt, daß die in der Tafel angegebenen Skizzen das Bild der Lampenglocken wiedergeben, wie sie der Glühlampenfabrikant aus der Glashütte erhält. Oft verwendet werden auch zu Spezialzwecken Glocken in Kerzenform (4 *a*, *b* und *c*), ebenso für gewisse Reflektorlampen (z. B. Schaufensterbeleuchtung) die Pilzform 5. Ganz besonders reichhaltig und oft sehr schön wirkend sind die Formen zur Erzeugung der sogenannten Phantasielampen, von denen in der Tafel einige angegeben sind. 6 stellt verschiedene Arten von gedrehten Kerzenlampen



Tafel I.

dar, während 7, 8 und 9 Kugellampen zeigt, die teilweise durch die aufgesetzten Perlen aus buntem Glas eine prachtvolle Wirkung hervorrufen. Ähnliche Phantasieformen sind in 10, 11 und 12 skizziert.

In den früheren Jahren, als die Fabrikation der Glühlampen sich noch in sehr bescheidenen Grenzen bewegte, wurden diese Körper, wenigstens die einfachen Birnen, Kugeln und Röhren, in den Glühlampenfabriken durch geübte Glasbläser selbst hergestellt. Dies ist jetzt in den größeren Fabriken gänzlich ausgeschlossen, wenn man bedenkt, daß manche derselben bis zu 30000 und mehr Lampenkörper täglich verbraucht. Aus diesem Grunde sind Glashütten ins Leben gerufen worden, die sich ausschließlich mit der Herstellung dieses Spezialartikels beschäftigten und nun in der Lage sind, die Glühlampenfabriken mit dem notwendigen Bedarf zu versorgen.

A. Das Ansetzen der Pumprohre oder Pumpstengel.

Vor dem eigentlichen Einschmelzen der Füße mit den Kohlen in die Birne hat die letztere erst einige vorbereitende Arbeiten durchzumachen. Als erste Arbeit kommt in Betracht das Reinigen der aus der Glashütte kommenden Lampenkörper. Diese Reinigung ist unerläßlich, da sich sowohl außerhalb als auch ganz besonders innerhalb der Lampenglocken Unreinigkeiten befinden, die sich dann als häßliche Flecken bemerkbar machen würden. Diese Unreinigkeiten bestehen zumeist aus einem von der Herstellung der Glocken in der Hütte herrührenden leichten weißen alkalischen Anflug, von aus der Luft und dem Verpackungsmaterial kommendem Schmutz. Man hat versucht, die Verunreinigung der Lampenglocken nach der Blasearbeit in der Hütte dadurch zu vermeiden, daß sofort die Glocken am Halse zugeschmolzen wurden und so zum Versand gelangten; doch hat sich dieses Verfahren wegen seiner Umständlichkeit nicht bewährt.

Das Waschen der Lampenglocken geschieht gewöhnlich in der Weise, daß dieselben mit einer geeigneten verdünnten Säure ausgespült und hierauf mit reinem Wasser nachgespült werden. Als Säuren verwendet man Salz-, Salpeter- oder Essigsäure. Vorzügliche Resultate hat man erreicht mit einem Spielwasser, dem einige Tropfen Flußsäure zugesetzt worden

sind. Hierbei hat man aber die Vorsicht zu gebrauchen, die Hände der Arbeiter mit Gummihandschuhen zu schützen. Nach dem erfolgten Waschen werden die Lampenglocken gut getrocknet.

Hierauf erfolgt das Ansetzen der Pumpstengel, d. h. an der Spitze der Lampe wird ein geeignet dickes langes Rohr angesetzt, mit dessen Hilfe dann das Luftleermachen der Lampe erfolgt. Der Vorgang ist in Fig. 78 schematisch dargestellt. Der gewaschene und trockene Glasballon *a* wird an der Stelle *f* mit einer geeignet eingestellten Gebläsestichflamme

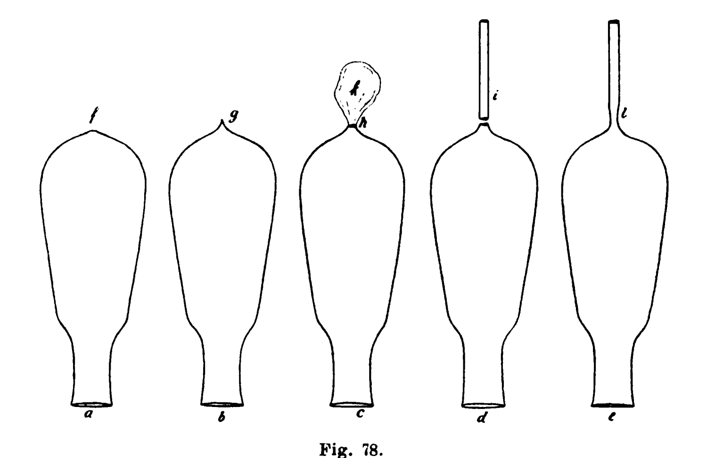


Fig. 78.

erhitzt und nun zur Spitze *g* ausgezogen (*b*). Die Spitze *g* wird zum Schmelzen erhitzt, durch Hineinblasen bei *c* aufgeblasen und die entstandene äußerst feinwandige Glasblase *k* abgestreift, so daß die Öffnung *h* entsteht. Ein entsprechend dimensioniertes Stengelrohr *i* (*d*) wird schließlich sauber mit der Öffnung *h* verschmolzen und dann etwas ausgezogen, so daß die Verengung *l* erzeugt wird. Diese Verengung *l* ist unbedingt notwendig, um das spätere Abschmelzen oder „Abstechen" der Lampe nach dem Evakuieren zu erleichtern, so daß eine wohlgeformte Spitze erzeugt werden kann. Bei der Herstellung der Verengung hat man jedoch darauf acht zu geben, daß dieselbe wiederum nicht zu eng wird, da sonst das schnelle Luftleermachen wesentlich verzögert werden kann.

Diese Arbeit wurde bis vor kurzer Zeit ausschließlich mit der Hand ausgeführt, während heute auch schon Maschinen existieren, die eine wesentlich erhöhte Leistungsfähigkeit auf-

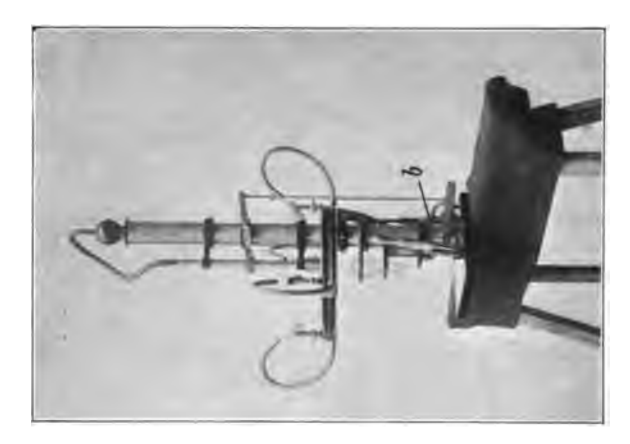


Fig. 79 a.

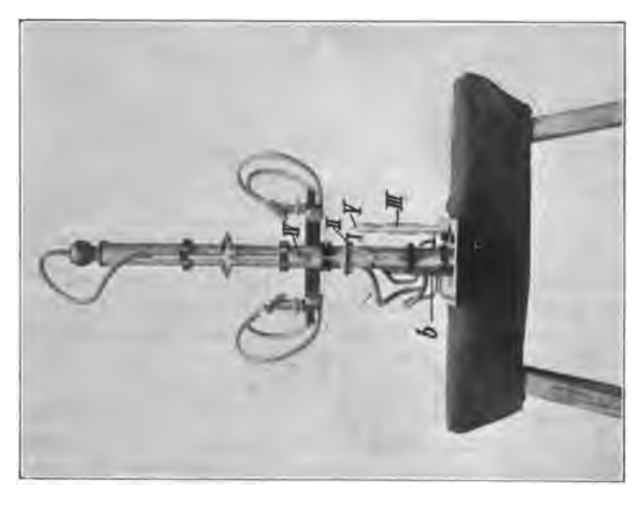


Fig. 79 b.

weisen. Eine dieser Maschinen, dem Verfasser von der Firma Köppe & Schulz, Berlin, zur Verfügung gestellt, ist in Fig. 79 a und b dargestellt.

Zunächst wird die Glocke in die Haltervorrichtung *I* und *II* eingesetzt, wobei *I* nach unten gedrückt wird. Die Glocke wird durch Federn, welche gegen die Klemme *I* drücken, festgehalten. Jetzt wird der Hebel *III* ganz nach hinten gedrückt, wobei sich das Klemmfutter *IV* öffnet und zur Aufnahme des Pumprohres bereit ist. Beim Loslassen des Hebels *III* schließt sich wieder das Futter *IV* und hält nun den Stengel in seiner eingenommenen Lage fest. Jetzt wird das Kreuzfeuer (in der Figur ein vierfaches) in Tätigkeit gesetzt, welches den Scheitel des Lampentellers zum Schmelzen bringt. Ist dieser Punkt erreicht, so wird durch den Hebel *III* der Stengel vorsichtig in das Feuer gebracht und an den geschmolzenen Teil des Ballons angesetzt. Ist dieses Moment erreicht, so wird auf den Knopf *V*, welcher am Hebel *III* sitzt, gedrückt und hierdurch bewirkt, daß das mit der Maschine verbundene Vakuum in Tätigkeit treten kann. Das Vakuum wirkt durch den Pumpstengel auf das geschmolzene Glas des Ballons, zieht dort ein Loch und stellt so die notwendige Verbindung zwischen Pumprohr und Glasbirne her. Nachdem das Kreuzfeuer außer Tätigkeit gesetzt worden ist, wird der Stengel durch Bewegung des Hebels *III* nach in der schon beschriebenen Weise ausgezogen, d. h. die in Fig. 78 beschriebene Verengung hergestellt.

B. Das Abziehen der Ballons.

Die nun folgende Arbeit, das Abziehen der Ballons, bezweckt die Entfernung der unnötig langen Hülse der aus der Glashütte stammenden Birnen. Dieses Abziehen wurde, wie die meisten schon beschriebenen Arbeiten, früher vollständig mit der Hand ausgeführt; heute bedient man sich der in Fig. 80 und 99 II dargestellten Abziehmaschinen. Fig. 80 ist eine von Johannes Prigge, Augsburg-Lechhausen, konstruierte Maschine, die im wesentlichen aus der eigentlichen Abziehmaschine *2* und dem Kreuzfeuergebläse *1* besteht. Die mit dem Pumpstengel versehene Glocke *3* wird auf die beiden dicht nebeneinander liegenden Scheiben *6* und auf die Führung *7* aufgelegt und nun vermittels der Bänder *5* in langsame Rotierung versetzt. An der gewünschten Stelle des Halses wird nun mit Hilfe des Gebläses das Glas zum Schmelzen erweicht, der zu entfernende Halsteil mit einer Pinzette abgezogen, die Schmelzstelle nochmals erhitzt und durch das Pumprohr aufgeblasen in gleicher Weise, wie es

beim Ansetzen der Pumpstengel beschrieben worden ist. Um das Abziehen etwas zu fördern, ist an der Maschine eine gleich eingerichtete Vorwärmeeinrichtung angebracht, durch welche ein zweiter Ballon *4* an der gewünschten Stelle vermittels eines in der Figur nicht sichtbaren Brenners etwas vorgewärmt wird. Nachdem der Ballon *3* entfernt worden ist, wird Ballon *4* jetzt an seine Stelle gebracht und ein neuer in den Vorwärmer.

Eine andere Abziehmaschine, die gleichzeitig in Verbindung einer Einschmelzmaschine arbeitet, wird von der Firma Köppe & Schulz, Berlin, in den Handel gebracht.

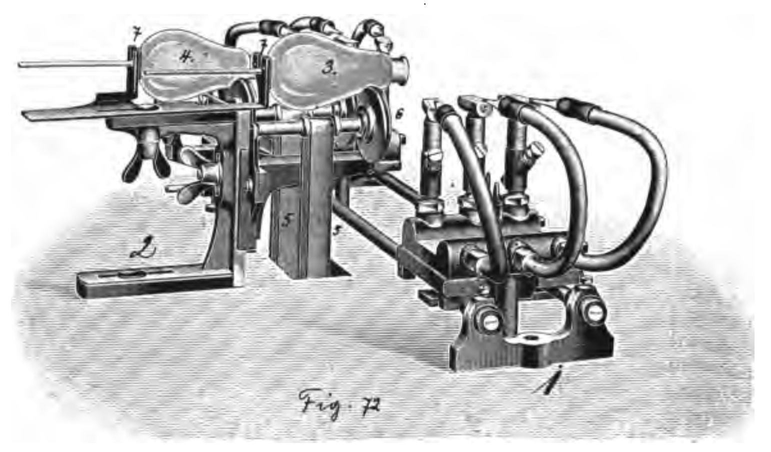


Fig. 80.

(Fig. 99 a und b II.) Sie ist eine Horizontalmaschine, bei der der abzuziehende Glockenhals *1* senkrecht nach unten steht. Die Maschine besteht wieder aus dem Kreuzfeuergebläse *3* und der rotierenden Abziehmaschine *2*. Der Ballon steht fest in den an Stangen befestigten Haltern *4*, die je nach der Art und Größe des Ballons voneinander entfernt werden können. Die Stangen sind fest mit dem Ring *6* verbunden, der mit einem Seil (kleiner Motor) in Rotierung versetzt wird. An der gewünschten Stelle wird der Hals nun erhitzt bis zum Schmelzen, bis der abzuziehende Halbteil von selbst abfällt; schließlich wird nach dem Ausblasen der Schmelzstelle der entstandene Glasschaum abgestreift; die

Birne hat damit das Stadium erreicht, welches sie zum nunmehrigen Einschmelzen der Glasfüße geeignet macht. In Fig. 81 ist zum leichteren Verständnis des Vorganges beim Abziehen eine Glocke vor und nach dem Abziehen dargestellt.

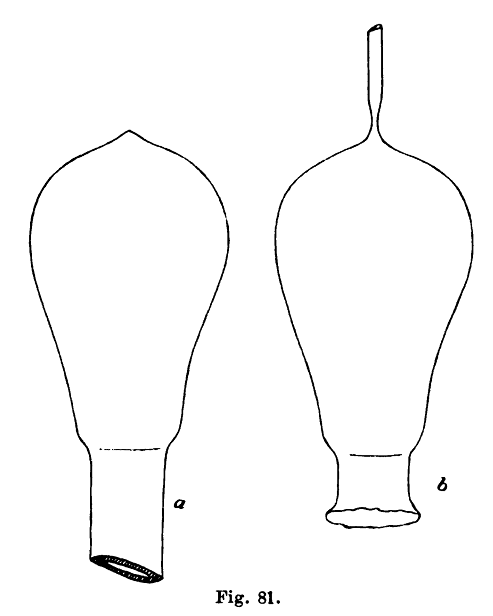


Fig. 81.

C. Das Einschmelzen der Füße mit folgendem Abkühlen.

Im Anfangsstadium der Glühlampenfabrikation war das Einschmelzen der Glühfäden in die Birne eine der schwierigsten Arbeiten in glastechnischer Hinsicht, das nur von geschickten gelernten Glasbläsern ausgeführt werden konnte. Nach Einführung des amerikanischen Tellerfußsystems jedoch und nach dem sorgfältigen Ausbau der notwendigen Maschinen wird diese Arbeit fast durchgängig nur von Arbeiterinnen verrichtet, zu der man allerdings auch die Geschicktesten auszuwählen hat. Immerhin lassen sich jetzt, wie aus der am Anfang dieses Kapitels gegebenen Tabelle ersichtlich ist, etwa die $2^1/_2$ fache Menge mehr Lampen herstellen als z. B. nach dem alten deutschen System, wobei besonders zu betonen

ist, daß der Ausschuß beim Einschmelzen ein ganz wesentlich geringerer ist als bei den älteren Methoden.

Die zum Einschmelzen der Tellerfüße notwendigen Maschinen bestehen aus drei besonderen Teilen, und zwar:

1. der Einschmelzzange,
2. der Einschmelzmaschine und
3. dem Kreuzfeuergebläse.

Die Einschmelzmaschinen im allgemeinen haben selbstverständlich im Laufe der Zeit viele Umgestaltungen erfahren, worauf im folgenden kurz Rücksicht genommen werden soll. Das Einschmelzen selbst beruht darauf, daß der Teller des Fußes in geeigneter Weise mit dem äußeren Rande des Birnenhalses dicht verschmolzen wird. Hierbei ist besonders darauf zu achten, daß der Teller in richtiger Entfernung in den

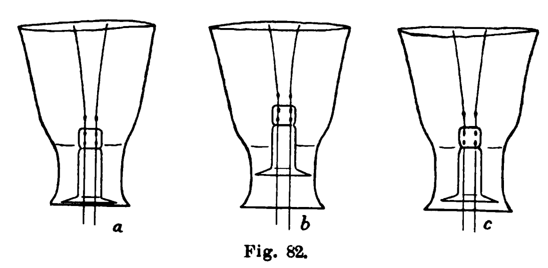


Fig. 82.

Hals eingeschoben wird, nicht zu weit nach außen an den Rand, jedoch auch nicht zu weit in den Hals der Birne hinein. Ersteres würde zur Folge haben, daß die Einschmelzstelle zu dünn wird, wohl auch wegen Fehlens der notwendigen Glasmenge Löcher entstehen könnten; das zweite ist deshalb nicht rätlich, weil infolge der zu großen zu schmelzenden Glasmenge die Einschmelzstelle zu dick, zu massig wird, die nach den Erfahrungen die Neigung zeigt, nach dem Einschmelzen sehr leicht zu springen. Es lassen sich nun für das richtige Stehen des Tellerfußes im Birnenhals keine bestimmten, immer gleichbleibenden Regeln angeben, da dasselbe ganz abhängig ist von den Abmessungen und den Wandstärken der verwendeten Birnenhälse und Tellerröhren. Um einigermaßen den richtigen Abstand des Tellers vom Rande des Halses anzudeuten, sei die schematische Skizze Fig. 82 angegeben, wobei *a* und *b* die falsche, *c* die richtige Lage des Tellerfußes im Glockenhals andeuten soll.

Eine der ältesten Modelle einer amerikanischen Einschmelzmaschine (aus dem Jahre 1900) zeigt uns Fig. 83. Der abgezogene Ballon mit Pumpstengel wurde in die Klammer *a* eingesteckt, der Fuß mit der Kohle auf die Klemme *b* auf-

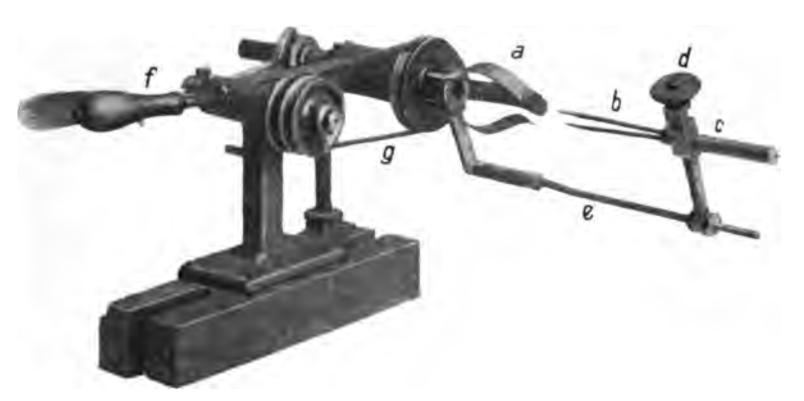


Fig. 83.

gesetzt, die in der Führung *c* beweglich war und mit der Schraube *d* in der gewünschten Lage festgehalten wurde. Die Klemme *b* war mit der Klammer *a* durch das Gestänge *e* fest verbunden. Durch den Einrücker *f* und den Riemenantrieb *g* wurde die Einschmelzmaschine in Rotierung versetzt, während

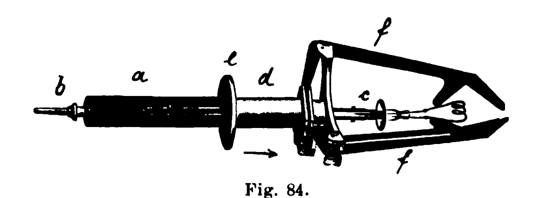


Fig. 84.

das Einschmelzen selbst durch ein geeignet angeordnetes vierfaches Kreuzfeuergebläse bewirkt wurde. Die Einschmelzarbeit gestaltete sich jedoch bei Anwendung dieser Maschine so schwerfällig und unpraktisch, daß sehr bald bedeutende Verbesserungen eingeführt wurden. Am störendsten hierbei waren das Einstecken des Ballons in die Klammer *a* und das Einregulieren der Klemme *b* mit dem Fuß in den Glockenhals.

Im folgenden sollen nun die neueren Einschmelzmaschinen kurz beschrieben werden, die aus drei gesonderten Apparaten bestehen, der Einschmelzzange, der Einschmelzmaschine und dem Kreuzfeuergebläse.

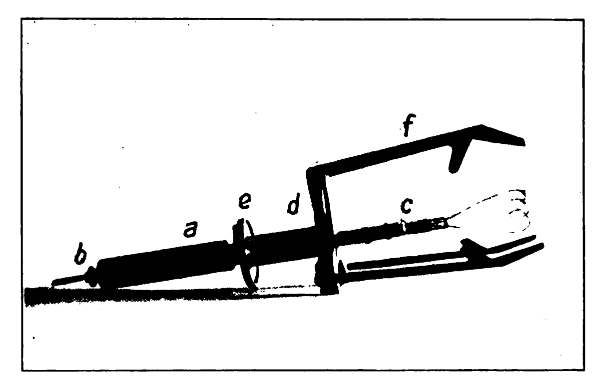


Fig. 85.

1. Die Einschmelzzange.

Dieser Apparat hat den Zweck, den Tellerfuß mit Kohle und den abgezogenen Ballon aufzunehmen und beide in der richtigen Lage festzuhalten. Die Zange (Fig. 84) besteht



Fig. 86.

aus dem Griff *a* mit dem Haltestift *b*. Der Griff *a* ist gewöhnlich mit Fiber oder einem ähnlichen schlechten Wärmeleiter umkleidet. Mit dem Griff *a* ist die Schlitzklemme *c* fest verbunden, welche von dem Rohr *d* mit der daran be-

festigten Rollscheibe *e* umgeben ist. An dem Rohr *d* einerseits sind weiter die drei Greifer *f*, anderseits an der Schlitzklemme *c*, mit Scharnieren verbunden, während im Rohr *d* eine starke Spiralfeder liegt, welche *d* mit *e* und *f* in der in der Figur dargestellten Lage erhält. Durch Fingerdruck an die Scheibe *e* in der Pfeilrichtung wird die Zange geöffnet (Fig. 85), in welcher Lage der Tellerfuß auf die Klemme *c* aufgesteckt und der Ballon über den Fuß geschoben wird. Hierauf läßt man die Greifer durch Nachlassen des Druckes bei *e* langsam auf den Ballon drücken, so daß jetzt Ballon und Tellerfuß in der eingenommenen Stellung fest verharren müssen (Fig. 86).

Je nach der Größe und Form der einzuschmelzenden Ballons richtet sich nun die Größe der Zange und die Form der Greifer *f*. In der in Fig. 86 gezeichneten Lage ist die Einschmelzzange fertig zum Aufsetzen auf die Einschmelzmaschine.

2. Die Einschmelzmaschine.

Eine weitere Arbeit der Einschmelzarbeit hat die eigentliche Einschmelzmaschine zu verrichten, und zwar das ständige Rotieren der Zange mit Fuß und Ballon in einer bestimmten festen Lage. Ein derartiger Apparat mit schon aufgelegter Zange ist in Fig. 87 abgebildet. Er besteht aus dem eisernen Gestell *a*, an welchem um einen Schraubenstift nach oben und unten drehbar der Hebel *b* befestigt ist, welcher zwei Flacheisen trägt, in denen zwei Rollstangen *c* eingelassen sind. Die Rollstangen sind mit kleinen Ringen versehen, zwischen denen ein Riemen läuft, der die Stangen und damit auch die auf ihnen liegende Rollscheibe *d* der Einschmelzzange in Rotierung versetzt. Das hintere Winkeleisen des Hebels *b* trägt weiter zwei Führungsstangen *e*, über welche der Schlitten *f* gleitet, in dessen Nut der Haltestift *g* der Zange eingeführt wird. Beim Einsetzen der Zange in die Einschmelzmaschine wird der Hebel *b* nach unten gedrückt, so daß die Maschine eine schräg nach oben gerichtete Lage einnimmt und die Zange mit Glocke vorerst außerhalb des Kreuzfeuers liegt. Hierauf wird der Hebel nach oben gebracht, wobei die Einschmelzstelle des Glockenhalses ins Gebläse kommt. Die Feinregulierung zur genauen Einstellung der Schmelzstelle wird durch Bewegung des Hebels *h* erzielt, der fast mit dem auf den Stangen *e* gleitenden Stangen *f* verbunden ist.

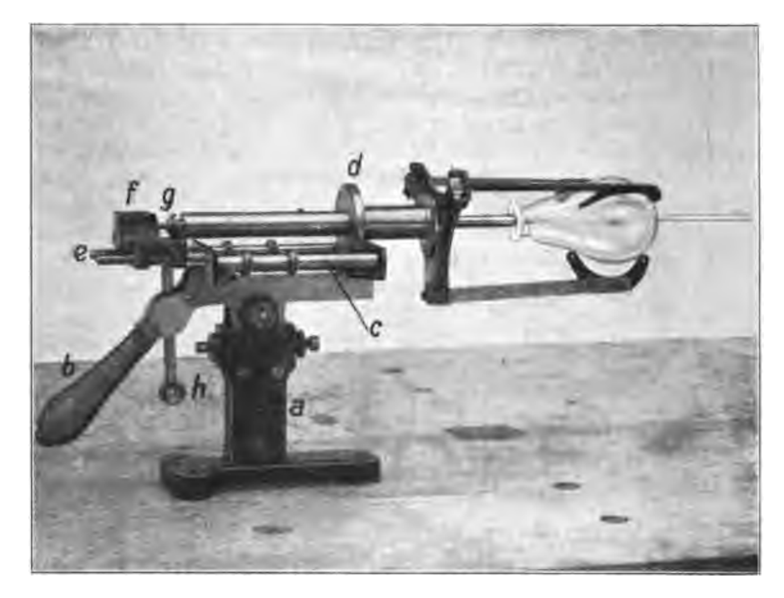


Fig. 87.

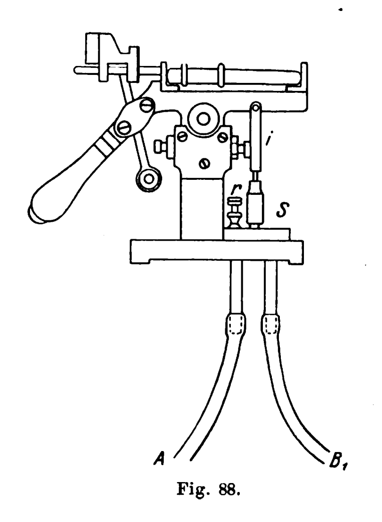


Fig. 88.



Fig. 89.

Eine wesentliche Verbesserung dieser Einschmelzmaschine ist an den in Fig. 88 und 89 dargestellten Apparaten angebracht worden, die sonst im allgemeinen dieselbe Konstruktion aufweisen wie die eben beschriebene Maschine. Der Hebel *b* ist hier noch mit Stangen *i* verbunden, die mit Ventilen versehen sind, welche beim Herunterdrücken des Halses, also beim

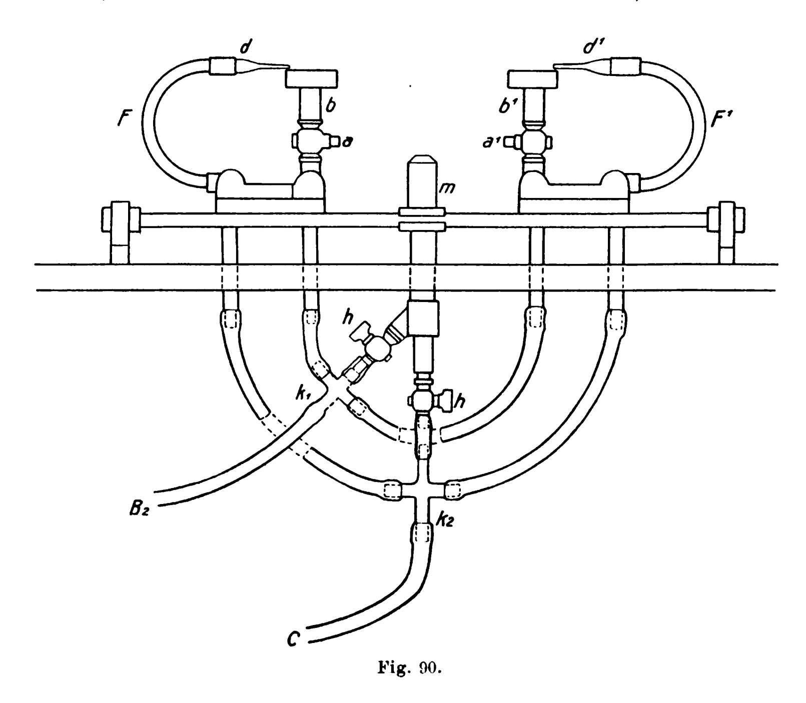


Fig. 90.

Bringen in die Lage, bei der die Zange auf die Einschmelzmaschine aufgesetzt oder von ihr abgenommen wird, zum Teil den Zutritt des Gebläsewindes und des Leuchtgases nach dem Kreuzfeuergebläse absperren. Es sind zwei derartige Sparventile angeordnet (Fig. 89 sichtbar), von denen das eine zum Absperren der Druckluft, das andere des Leuchtgases dient. Die Regulierschrauben *r* ermöglichen eine Feineinstellung der Gebläseflammen. Durch das Schlauchrohr *A* tritt z. B. das Leuchtgas über die Regulierschraube nach dem Sparventil *S* und durch *B* nach dem Kreuzfeuergebläse. Es

tritt bei Verwendung dieser Ventile eine große Ersparnis an Druckluft und Leuchtgas ein, da die Ventile in der Schräglage der Maschine eine Kleinstellung der Gebläseflammen bewirken, die dann erst in der wagerechten Einschmelzstellung wieder mit voller Kraft rauschen.

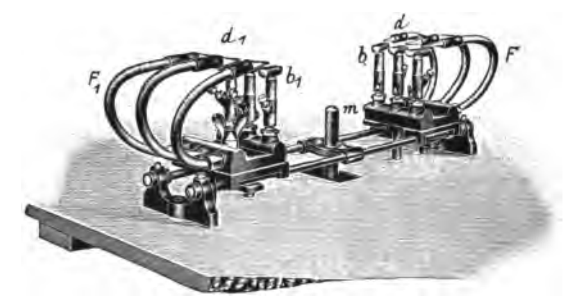


Fig. 91.

3. Das Kreuzfeuergebläse.

Die notwendige Temperatur, um das Glas zum Schmelzen zu bringen und eine innige Verbindung zwischen Glockenhals und Tellerfuß zu bewirken, liefert das Kreuzfeuergebläse. Bei Anwendung der älteren Einschmelzarten wurde ein ein-

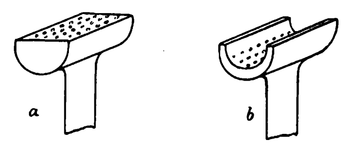


Fig. 92.

faches Bunsengebläse benutzt, welches jedoch für das neue Einschmelzsystem nicht verwendet werden konnte. Es handelt sich darum, viel Hitze möglichst schnell auf einen Punkt zu konzentrieren, um ein rasches und sicheres Arbeiten zu ermöglichen, und dies ist eben bei Benutzung der beschriebenen rotierenden Einschmelzmaschine nur mit Hilfe des Kreuzfeuergebläses möglich. Am meisten sind im Gebrauch die sechs- oder achtfachen Gebläse, die, wie aus Fig. 90 und 91 ersichtlich, aus den Gasbrennern *b* und den Druckluftdüsen *d* bestehen. Bei dem dargestellten Gebläse ist außerdem noch

der Mittelbrenner *m* angeordnet, der jedoch nicht absolut notwendig ist und vollständig durch die Hähne *h* außer Tätigkeit gesetzt werden kann. Das Leuchtgas gelangt durch das Rohr *B* über das Kreuzstück k_1 nach *b* und b_1, ebenso durch Hahn h_1 nach dem Mittelbrenner *m*. Die Ausströmung des Gases wird reguliert durch die Hähne *a* a_1. Die Druckluft gelangt durch *C* über das Kreuzstück k_2 nach *F* und F_1 und somit nach den aus Glas bestehenden Düsen *d* und d_1. Die Düse *d* ist am Bleirohr *F* mit einem Stück Gummischlauch befestigt, so daß das biegsame Bleirohr *F* ein genaues Einstellen der Düse zum Gasbrenner *d* gestattet.

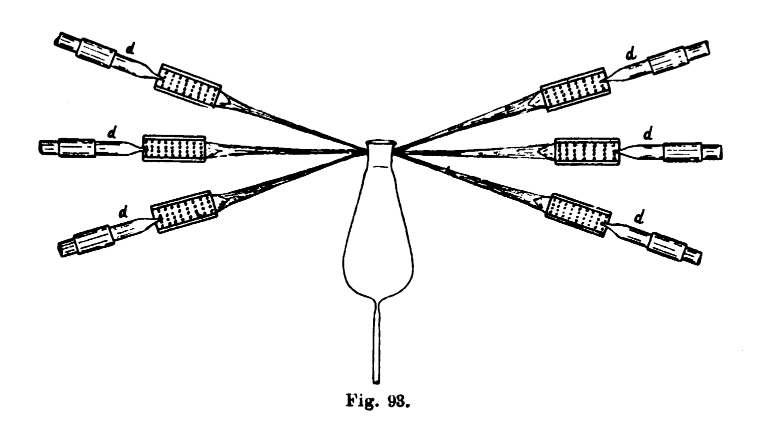


Fig. 93.

Die Gasbrenner *d* bestehen, wie in Fig. 92*a* und *b* dargestellt ist, aus Messingkörpern, aus deren feinen Durchborungen das Gas ausströmt. Verwendet werden beide Arten der Brenner; jedoch ist nach der Meinung des Verfassers die ausgehöhlte Form *b* der flachen *a* entschieden vorzuziehen, da bei dieser eine viel ruhigere Stichflamme erzielt werden kann als bei jener.

Der aus der Düse *d* ausströmende Wind bläst nun gegen das aus den Öffnungen der Gasbrenner austretende Leuchtgas und erzeugt so die Stichflamme. Diese Öffnungen sollen, um ein günstiges schnelles Einschmelzen bewirken zu können, so eingestellt werden, daß sich die Spitzen der Stichflammen in einem Punkt berühren derart, daß eine gegenseitige Störung der gegeneinanderschlagenden Flammen nicht eintreten kann (Fig. 93).

4. Die Einschmelzarbeit.

Die in den Abteilungen 1, 2 und 3 des Kapitels VI, C beschriebenen drei Apparate haben nun zusammen zu arbeiten, um das Einschmelzen der Tellerfüße in die Glasglocken zu bewirken. So zeigt uns Fig. 94 eine zur Arbeit bereite Einschmelzmaschine älterer Konstruktion ohne Sparventile und ohne Mittelbrenner, Fig 95 dagegen eine solche, bei welcher sowohl Sparventile als auch Mittelbrenner angebracht worden sind. Der Arbeitsvorgang ist nun folgender:



Fig. 94.

Nachdem Tellerfuß und Glocke in der richtigen Lage in die Einschmelzzange *3* eingesetzt und die Stichflammen des Kreuzfeuergebläses *1* einreguliert worden sind, wird die Zange auf die Einschmelzmaschine aufgelegt und die Rotierung durch Antrieb des Transportriemens *5* veranlaßt. Hierauf wird vermittels des Hebels *4* die Einschmelzstelle genau in den Treffpunkt der Stichflamme einreguliert, worauf das Einschmelzen unter beständiger Rotation der Zange *3* beginnt. Das Einschmelzen ist etwa fertig in $^1/_2$—$^3/_4$ Minuten, wobei sich die Zeit selbstverständlich nach der Größe des einzuschmelzenden Ballons richtet. Nach erfolgter Einschmelzung wird die Zange aus dem Feuer genommen, die Birne abgenommen und die

reiche Einschmelzstelle durch Einblasen von Luft (mit dem Mund durch das Pumprohr) etwas aufgeweitet. Schließlich erfolgt noch mittels einer geeigneten Pinzette das Ausrichten des Fußes, um das symmetrische Stehen der Kohle in der Glocke zu bewerkstelligen. Auf diese Weise vermag eine geübte Arbeiterin bei zehnstündiger Arbeit etwa 700—800 Lampen einzuschmelzen.

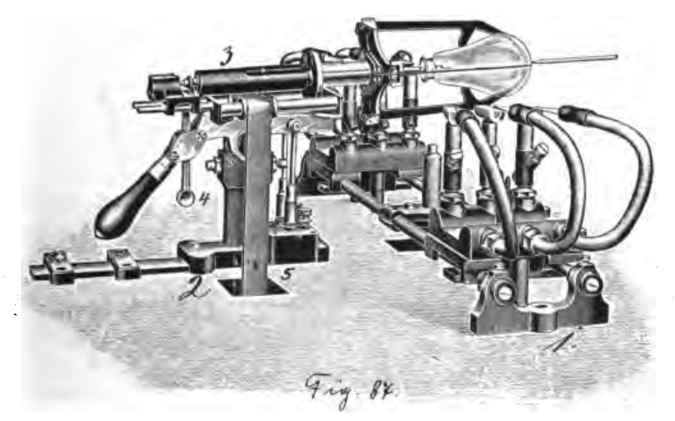


Fig. 95.

5. Das Abkühlen und Trocknen der Lampen.

Die erhaltenen Einschmelzstellen sind nun, wie jeder durch Schmelzarbeit veränderte Körper, äußerst empfindlich gegen rasche Abkühlung, da bei rascher Abkühlung gewöhnlich die geschmolzenen Teile Sprünge bekommen. Außerdem ist während des Einschmelzens ein Teil der durch die Verbrennung des Leuchtgases entstandenen Wasserdämpfe in den Innenraum der Birnen gelangt, hat sich dort kondensiert und kann nun beim folgenden Evakuieren der Lampen zu Störungen Veranlassung geben oder doch das Luftleermachen beträchtlich erschweren. Der Glühlampentechniker hat deshalb sein Augenmerk darauf zu richten, die beiden erwähnten Übelstände nach dem Einschmelzen möglichst abzuschwächen, um den sonst eintretenden großen Bruch zu vermeiden.

Ein derartiger Abkühl- und Trockenapparat ist in Fig. 96 dargestellt. *a* ist eine Eisenblechscheibe, die mit einer entsprechend großen Anzahl von Löchern (in der Fig. 9) versehen

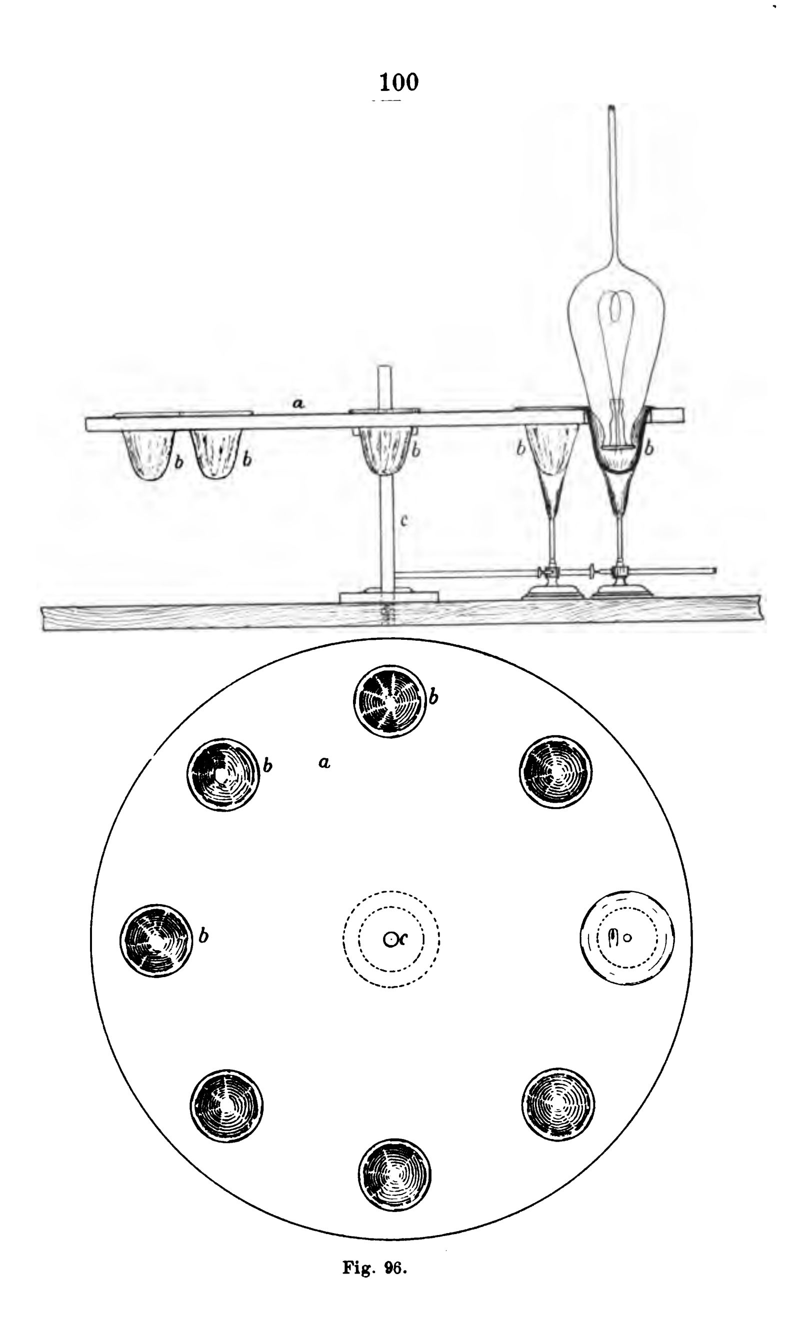


Fig. 96.

ist, in welche die aus Asbest angefertigten Beutel *b* eingesetzt worden sind. Die Scheibe ist drehbar um *c* angebracht. Zwei nebeneinanderliegende Beutel werden mit Bunsenbrennern angeheizt. Nachdem nun die eingeschmolzene Lampe ausgerichtet worden ist, wird sie in den ersten angeheizten Beutel derart eingesetzt, daß der Stengel nach oben steht. Durch Drehung gelangt nun die Lampe nach der zweiten Flamme und dann weiter nach den weiteren, nicht angewärmten Stellen, wobei nun eine allmähliche Abkühlung eintritt, während die Wasserdämpfe durch das Pumprohr austreten. Bei jeder Drehung wird nun eine neu eingeschmolzene Lampe in den angeheizten Beutel eingesetzt, während die abgekühlte Lampe in der letzten Stellung vor dem Anwärmen vom Apparat genommen wird.

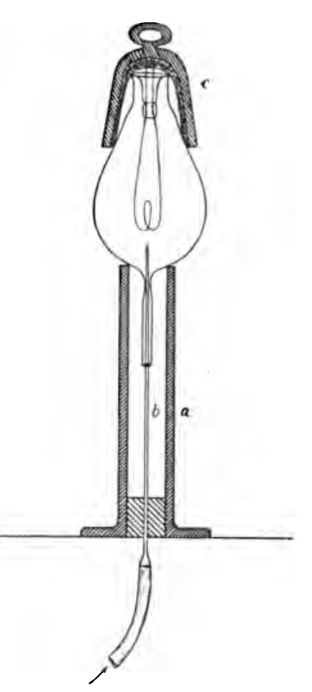
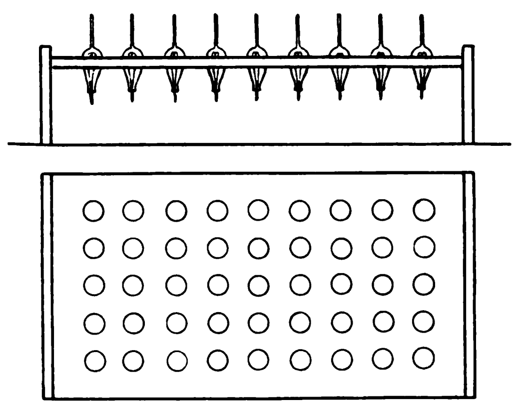


Fig. 97.

Ein anderer Apparat, der ein noch besseres Trocknen der eingeschmolzenen Lampen gestattet


Fig. 98.

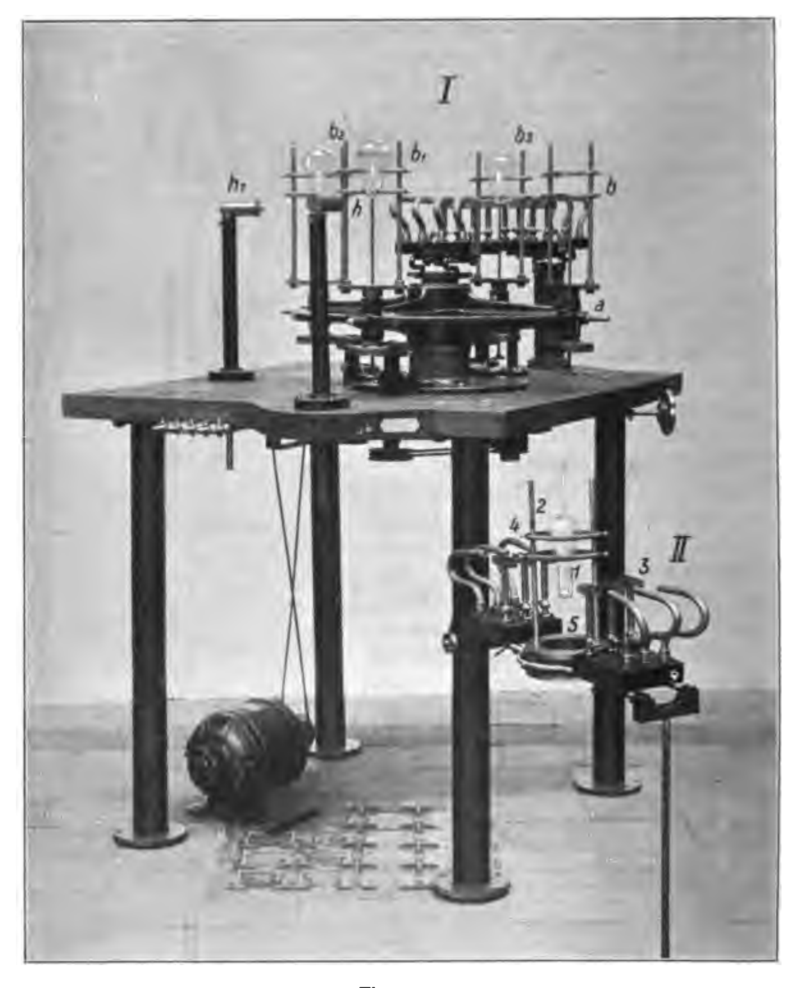


Fig. 99 a.

und jetzt in den meisten Glühlampenfabriken sich in Anwendung befindet, stellt die Fig. 97 dar. *a* ist ein Metallrohr von etwa 1,5—22 cm lichter Weite, in welchem, z. B. mittels eines dicht schließenden Korkes, das zu einer feinen Spitze ausgezogene Glasröhrchren *b* befestigt ist. Durch den an *b*

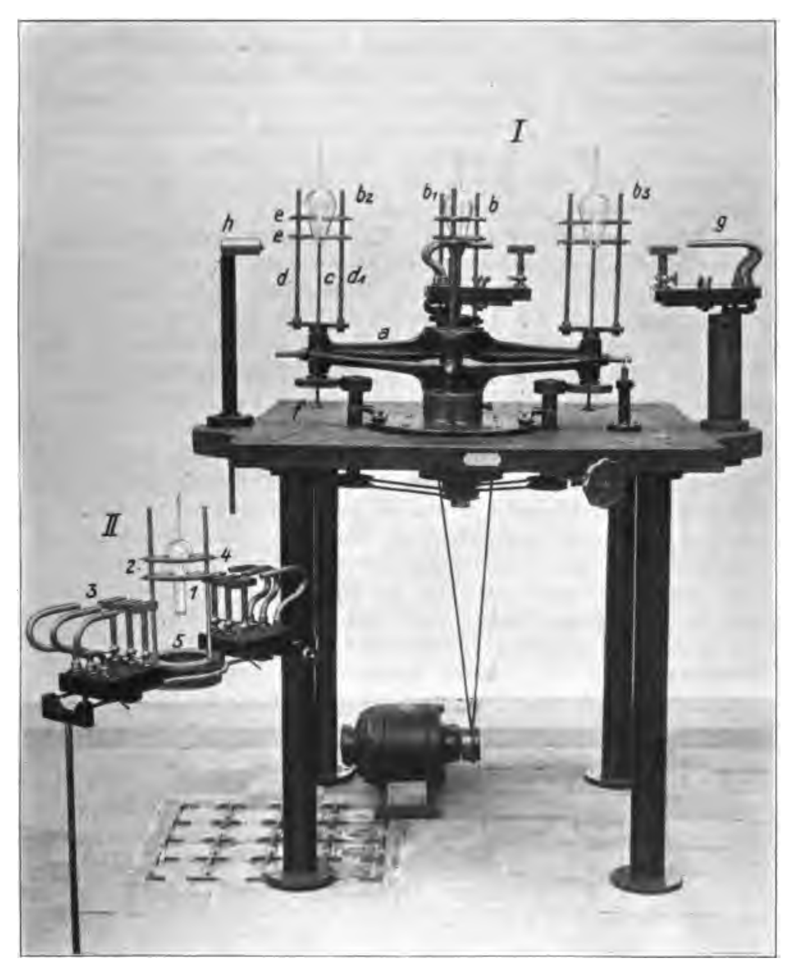


Fig. 99 b.

gebrachten Gummischlauch tritt Druckluft aus der Gebläsemaschine durch die Kapillaröffnung nach der heißen, mit dem Pumprohr über das Röhrchen geschobenen Lampe und verdrängt nun sicher alle im Ballon angesammelte Feuchtigkeit. Um das Abkühlen der Schmelzstelle zu bewirken, wird über

dieselbe ein Metallkörper *c*, der innen mit Asbest ausgekleidet ist, gestülpt. DieserKörper wird vorher am besten etwas angewärmt.

Sind nun die Lampen nach dem Einschmelzen nach einem dieser Verfahren abgekühlt und getrocknet worden, so werden sie in einem mit entsprechenden Löchern versehenen Holzkasten (Fig. 98) zum sicheren Transport etwa zu 50 Stück aufgereiht und gelangen so zu der Abteilung, in welcher die Lampen luftleer gemacht werden.

Kurz vor Absendung des Manuskriptes wurde dem Verfasser noch durch die mechanischen Werkstätten von Köppe & Schulz, Berlin, die neueste Horizontaleinschmelzmaschine zugänglich gemacht, die hier noch kurz beschrieben werden soll. Die Maschine ist in verschiedenen Stellungen in den Figuren 99a und b (S. 102 u. 103) wiedergegeben und hat Ähnlichkeit mit der früheren beschriebenen Fußquetschmaschine derselben Fabrik. Auf dem Rad *a* sind in gleichen Abständen vier Einschmelzzangen b, b_1, b_2 und b_3 angeordnet, welche aus dem Rad *c* mit einer Schlitzklemme zur Aufnahme des Tellerfußes und den Stangen d und d_1 mit den Haltern *e* zum Einsetzen des abgezogenen Ballons bestehen. Das Einregulieren des Fußes in den Glockenhals geschieht mit der Schraube *f*. Die drehbare Zange ist mit der Scheibe *g* versehen, welche durch das gegenliegende, durch das Seilgetriebe *h* in Rotierung versetzte Friktionsrad *i* zur Drehung gebracht wird. Die Maschine wird durch zwei Arbeiterinnen bedient, von denen die eine bei *b* den Fuß und die Glocke in die Zange setzt, die andere die bei b_3 durch das Kreuzfeuergebläse *g* eingeschmolzene Lampe abnimmt. Von *b* gelangt die Lampe nach b_1 und b_2, wo sie unter ständiger Rotierung von den einfachen Gebläsen h und h_1 angewärmt wird. Die Maschine ist gleichzeitig kombiniert mit der schon beschriebenen Abziehmaschine *II*; zwei Arbeiterinnen, die Hand in Hand arbeiten, können bei zehnstündiger Betriebszeit etwa 1800 Lampen einschmelzen.

D. Das Haltern oder Verankern der Lampen.

Bei Lampen, die einen sehr dünnen federnden Glühfaden bei gleichzeitig größerer Anzahl von Schleifen besitzen, oder in denen zwei einzelne Glühfäden hintereinander angeordnet sind, macht sich nun in den meisten Fällen des Haltern oder Verankern der Glühfäden notwendig. Dieses Verankern soll

dem dünnen Faden größere Stabilität verleihen, und bei schräger Brennlage ein Zusammenkommen der einzelnen Spiralen oder Fäden verhindern, da sonst sehr leicht Kurzschluß und damit die Zerstörung der Lampe eintreten könnte.

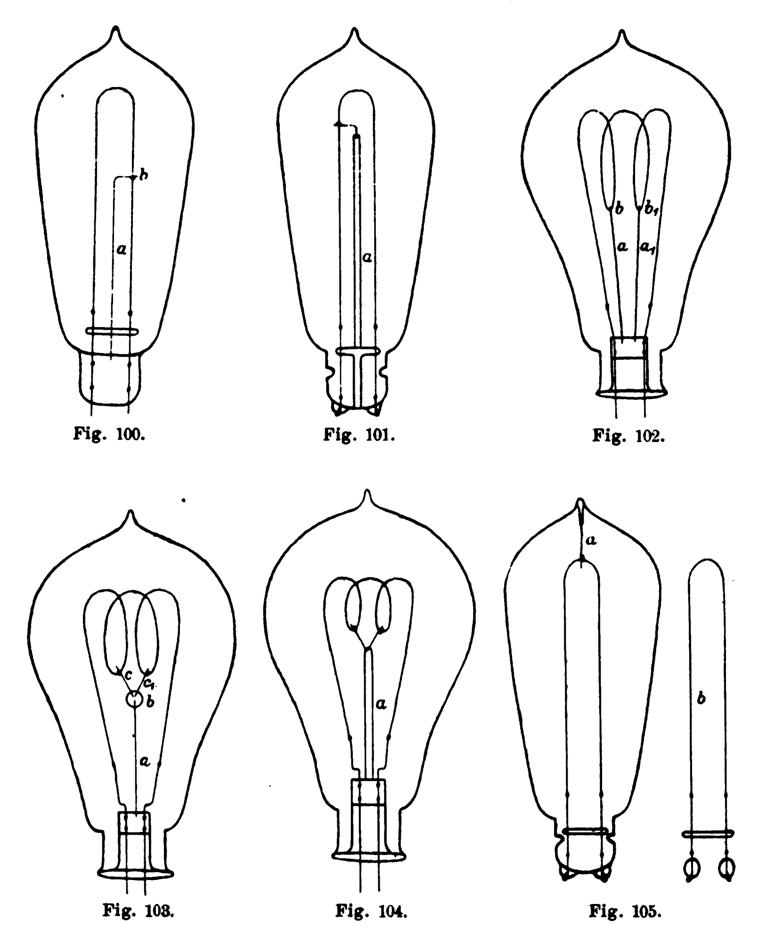


Fig. 100. Fig. 101. Fig. 102.

Fig. 103. Fig. 104. Fig. 105.

Man unterscheidet nun beim Verankern der Glühfäden zwei verschiedene Arten, und zwar das Haltern vor und nach dem Einschmelzen.

Ältere Verankerungen vor dem Einschmelzen zeigen uns z. B. die Figuren 100 und 101. Bei Fig. 100 ist der durch den Steg gehende dünne Nickeldraht *a* mit eingequetscht worden, der an der oberen Biegung eine Öse *b* trägt, durch welche der Glühfaden geführt ist. Fig. 101 zeigt eine Abänderung dahin, daß der Draht durch den Glasstab *a* ersetzt ist, der mit dem kurzen, die Öse tragenden Nickeldraht verschmolzen ist. Für die neue amerikanische Einschmelzmethode werden vorzugs-

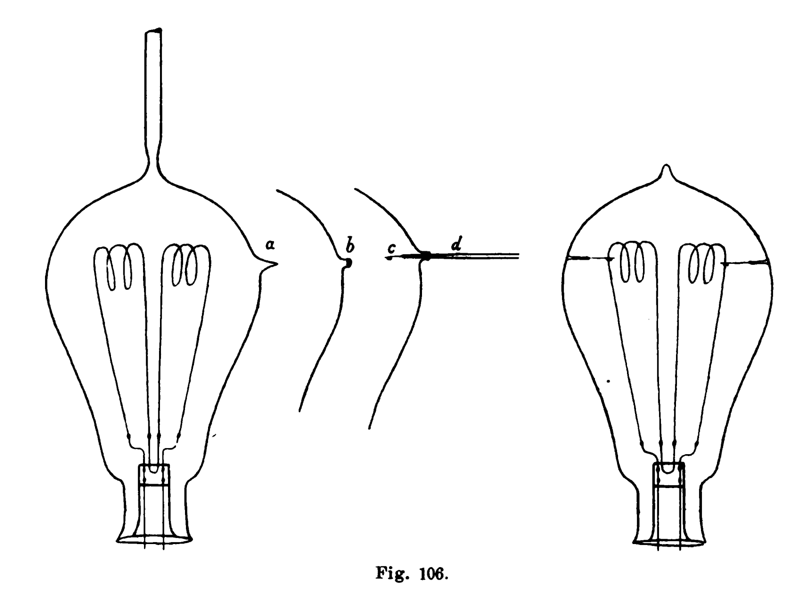


Fig. 106.

weise die drei in den Figuren 102, 103 und 104 dargestellten Verankerungsarten verwendet. Bei Fig. 102 sind die beiden Nickeldrähte a und a_1 mit in den Tellerfuß eingequetscht und bei b und b_1 vermittels eines ähnlichen Kittes, wie beim Befestigen der Kohlenfäden an den Elektroden, mit den Spiralen der Kohle fest verbunden. Fig. 103 zeigt uns eine sehr häufig angewendete Verankerungsmethode. Der Fuß trägt den Nickeldraht a, auf welchen die Glasperle b aufgeschmolzen worden ist; diese ist wiederum mit den beiden kurzen Nickeldrähten c und c_1 verschmolzen, durch deren Ösen die Schleifen des Glühfadens geführt sind.

Die Haltermethode bei Fig. 104 ist nur dahin abgeändert, daß auf die Quetschung des Fußes der Glasstab *a* aufgeschmolzen ist, welcher die beiden Ösendrähte trägt.

Von Verankerungen nach dem Einschmelzen der Kohle in die Birne seien nur die in den Figuren 105, 106 und 107 gezeichneten angeführt, von welchen Fig. 103 die ältere Methode darstellt. Ein Nickeldraht *a* mit Öse, an welchem ein dünner Glasstab angesetzt ist, wird beim Ansetzen des Pumprohres mit dem Glasteil leicht mit dem Pumprohr verschmolzen. Hierauf wird der Kohlenfaden *b* mit Steg und Glasperlen in den Hals der Birne eingeführt, der Bügel des Fadens in die Schlinge des Drahtes *a* eingeführt und nun die Einschmelzung vollendet. Beim Abstehen der Lampen nach dem Evakuieren liegt dann die Verbindung des Glasstabes in der Spitze der Lampe.

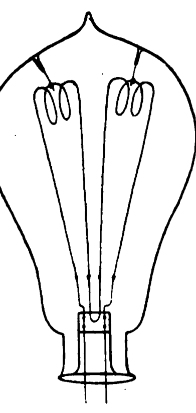


Fig. 107.

Die neueren Methoden sind in den Figuren 106 und 107 erläutert. Nach dem Einschmelzen des Tellerfußes wird an beiden Seiten der Lampe eine Spitze *a* ausgezogen, die dann zu einem kleinen Loch *b* ausgeblasen wird. Durch dieses Loch wird der mit Schlinge versehene Draht *c*, welcher an einem dünnen Glasstäbchen *d* angeschmolzen ist, in die Lampe eingeführt, der obere Glühfadenschenkel in die Schlinge gebracht und das Ganze am Loch mit der Birne sauber verschmolzen. Ebenso kann die Halterung auch von oben geschehen, wie es in Fig. 107 angedeutet worden ist.

VII. Das Entluften oder Evakuieren der Lampen.

Anschließend an die nunmehr erledigten glastechnischen Arbeiten zur Erzeugung der Glühlampe soll nun das Luftleermachen derselben beschrieben werden, eine Fabrikationsstufe, die neben der Herstellung erstklassiger Glühfäden die meisten Schwierigkeiten bietet. Die Schwierigkeiten liegen einesteils in der meist recht komplizierten Apparatur der verwendeten Vakuummaschinen, andernteils in der Arbeitsweise selbst, die nur von ganz gewissenhaftem Personal in zufriedenstellender Weise durchgeführt werden kann. Ein sehr großer, aber nicht zu umgehender Übelstand bei allen gebräuchlichen Systemen von Vakuumpumpen ist der, daß sehr oft bei geringer Außerachtlassung der gegebenen Vorschriften ein schlechtes Funktionieren der Pumpen veranlaßt wird, daß sehr oft Undichtheiten eintreten, die oft kaum erkennbar, nur schwer aufzufinden sind, und daß noch nach dem Modell der vorhandenen Pumpe die Arbeitsweise entsprechend modifiziert werden muß. Infolgedessen muß eine ständige sehr scharfe Aufsicht geübt werden, um auch die geringsten Unregelmäßigkeiten im Betriebe der Pumpen sofort abstellen zu können und so den sonst unvermeidlichen oft sehr beträchlichen Ausschuß an schlecht gepumpten Lampen zu vermeiden. Aus diesem Grunde ist es auch leicht ersichtlich, daß das Personal, von denen übrigens nicht jeder zum Pumpen von Lampen sich eignet, streng dazu erzogen wird, jede geringste eintretende bemerkbare Unregelmäßigkeit dem Vorgesetzten zu melden, damit dieser dann die entstandene Fehlerquelle zu suchen und auszumerzen imstande ist. Wie schon oft erwähnt, ist ein sehr hohes Vakuum in der Lampe unerläßlich, da schon sehr geringe Spuren von Luft und anderen Gasen die Herabsetzung der Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Lampe bedingen.

Zum Entluften der Lampen verwendet man nun drei verschiedene Arten von Pumpen, und zwar:

A. die Quecksilberluftpumpen,
B. die Maschinen- oder Ölpumpen,
C. die rotierenden Pumpen (Quecksilber oder Öl).

Diese Arten von Pumpen zerfallen wiederum in verschiedene Systeme, die bei der Beschreibung der Hauptgruppen besonders gekennzeichnet werden sollen. Welcher Art von diesen Pumpen beim Evakuieren der Kohlenfadenglühlampen der Vorzug gegeben werden soll, ist selbst unter den Glühlampentechnikern noch nicht sicher entschieden, da hierin die Ansichten sehr auseinandergehen. Um diesen Umstand deutlich erkennbar zu machen, sei nur erwähnt, daß z. B. in Österreich, Frankreich und England fast ausschließlich die Quecksilberpumpen in Anwendung sind, während in Deutschland und Amerika sich die Maschinenölpumpe immer mehr und mehr einbürgert. Es sei hierbei bemerkt, daß im Anfang der Glühlampenfabrikation überhaupt nur Quecksilberluftpumpen in Anwendung waren, und daß man lange Zeit nicht an die Möglichkeit glaubte, Kolbenpumpen zur Erzeugung eines Feinvakuums nutzbar zu machen. So bemerkt z. B. A. Krüger[1]) in seinem Buch wörtlich: „Da man mit Maschinenpumpen ein Vakuum, wie es für eine gute Glühlampe erforderlich, nicht erzielen kann, so wendet man ausschließlich Quecksilberluftpumpen an.“ Ähnliches sprechen J. Zacharias (1890) und Guilbert S. Ram („The Incandescent Lamp and its Manufacture 1893“) aus; selbst Dr. Alfred v. Urbanitzky erwähnt in seinem 1903 erschienenen Buche noch keine Maschinenpumpe zur Herstellung eines hohen Vakuums. Indessen kam die Ölpumpe schon vor etwa 7—8 Jahren in Gebrauch und hat ihre Leistungsfähigkeit im Laufe der Zeit derart verbessert, daß sie sich getrost an die Seite der Quecksilberpumpen stellen kann, wohl verstanden für das Evakuieren von Kohlenfadenglühlampen. So leisten jetzt die sogenannten „Geryk“- Ölluftpumpen (Patent Fleuß) und die Pumpe System „Kohl“ derartig Hervorragendes, daß sie ohne weiteres ein schnelles hochgradiges Vakuum hervorrufen und zur Erzeugung guter Glühlampen im weitesten Maßstabe nutzbar gemacht werden.

Bei näherer Betrachtung der Quecksilber- und Ölpumpen wird man erkennen, daß beide Systeme ihre Vor- und Nach-

[1]) A. Krüger, „Herstellung der elektrischen Glühlampe“ 1894.

teile besitzten. Das mit den Quecksilberpumpen erzeugte Vakuum ist bei Anwendung der neuen Modelle ein sehr hohes, ohne daß man besondere Hilfsmittel dazu nötig hat. Dieser entschiedene Vorteil vor den Ölpumpen beruht darauf, daß die Dampfspannung des Quecksilbers derart gering ist, daß sie keine schädlichen Folgen für die Lampe haben und deshalb vollständig außer Betracht gelassen werden kann. Dagegen ist die Apparatur der meisten dieser Systeme derart kompliziert, daß die Bedienungsweise sehr erschwert wird, und daß sehr oft Reparaturen vorgenommen werden müssen. Außerdem ist die peinlichste Sauberkeit und Sorgfalt anzuwenden, um die schädlichen Einflüsse der Quecksilberdämpfe auf den menschlichen Organismus auszuschließen.

Diese letztgenannten Nachteile weisen die Maschinenkolbenpumpen nicht auf, wenngleich hier auch zeitweise Reparaturen sich notwendig machen, zum Beispiel wegen Undichtwerdens der Ventile und Kolben. Doch sind dies die an allen anderen Maschinen auch eintretenden Abnutzungserscheinungen, die im allgemeinen innerhalb der beobachteten Zeitgrenzen bleiben. Die Bedienungsweise ist eine höchst einfache; jedoch tritt hier der Übelstand auf, daß das erzeugte Vakuum ohne Verwendung weiterer Hilfsmittel nicht ein derart hohes ist, als bei Gebrauch von Quecksilberpumpen, und daß infolge der Dampftension des Öles die Lampenglocke immer mit einer geringen entsprechenden Menge von Öldämpfen erfüllt ist. Es ist deshalb allerdings ein nur geringer Übelstand dieser Pumpenkategorie, daß das höchste Vakuum erzeugt werden muß mit Hilfe eines die letzten Gas- und Öldämpfe absorbierenden Mittels. Auf die Erzeugung des höchsten Vakuums mit diesen Mitteln wird zum Schluß des Kapitels über die Maschinenkolbenpumpen näher eingegangen werden.

Was die rotierenden Vakuumpumpen anbelangt, die teilweise mit Quecksilber, teilweise mit Öl betrieben werden, so gilt von diesen ebenfalls das schon Gesagte. Sie sind erst in allerneuester Zeit nutzbar gemacht worden und haben sich ebenfalls bewährt, so daß man mit einer ausgedehnten Einführung rechnen kann.

Es liegt nun außerhalb des Rahmens dieses Buches, alle je verwendeten Systeme zu beschreiben, da hierüber, speziell über Quecksilberpumpen, sehr ausführliche Werke[1]) vorliegen.

[1]) Silvanus P. Thompson, „The development of the mercurial air-pump“.

Vielmehr sollen nur die Pumpenarten näher erläutert werden, die noch in großem Maßstabe in der Glühlampentechnik in Gebrauch sind, und die sich für die Erzeugung eines für die Glühlampen genügend hohen Vakuums bewährt haben. Außer diesen sollen nur einige wenige Pumpen erwähnt sein, die wegen ihrer Arbeitsweise ein gewisses Interesse beanspruchen.

A. Die Quecksilberluftpumpen.

Die ersten Pumpen, bei denen vermittels des Quecksilbers ein hohes Vakuum erzeugt worden war, rühren her von Toricelli (1643), nach welchem Forscher auch heute noch ein hohes Vakuum mit Toricellischer Lehre bezeichnet wird (zum Unterschied des fast theoretischen Röntgenvakuums). Sein Gedanke wurde sehr bald von anderen Physikern weiter ausgebaut, und es entstanden die Quecksilberpumpen von Swedenborg (1722), Edelcrantz (1804), Kemp (1830), Geißler (1858), Joule (1874), Mitscherlich (1873), Lane-Fox (1884), Sprengel (1865), Gimingham (1875), Nicol (1886), Töpler (1877), Neesen (1888) usw. Von allen diesen Systemen hat sich nun für schnelles Arbeiten für große tägliche Leistungen nur die Sprengelpumpe bewährt, die jetzt noch in den verschiedensten Modifikationen in Anwendung ist. Es soll deshalb in folgendem, mit einigen Ausnahmen ganz neuer Quecksilberpumpen, nur auf die zuletzt genannte Art Bezug genommen werden, die allerdings in den verschiedensten Modellen zur Anwendung gelangt.

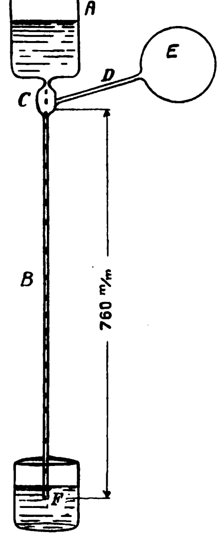


Fig. 108.

Die Sprengelpumpe beruht auf der saugenden Wirkung des in einem engen Rohre fallenden Quecksilberstrahles. In Fig. 108 ist dieser Vorgang in einfacher Weise dargestellt worden. *A* ist ein Glasgefäß, an welches am besten durch Verschmelzen ein Kapillarrohr *B* (etwa 1,5 — 2,5 mm lichter Weite) angebracht ist. *C* ist eine zwischen *A* und *B* gebildete Erweiterung, an welche ein Rohr *D* angesetzt ist, welches den luftleer zu machenden Hohlkörper *E*

trägt. In *A* befindet sich nun eine genügend große Menge Quecksilber, welche nach Bedarf immer vor gänzlichem Ablaufen durch neue Quantitäten ausgeglichen wird. Beim Herablaufen des Quecksilbers löst sich dieses nun in einzelne Tropfen auf, welche durch die aus dem Rohr *D* und dem Rezipienten *E* eindringende Luft voneinander getrennt sind und nun gewissermaßen Kolben bilden, die die Luft durch ihr Gewicht nach unten drängen und zum Austritt bei *F* veranlassen. Dieses Spiel wiederholt sich nun so lange, bis der Rezipient luftleer ist, bis also keine austretenden Luftblasen bei *F* mehr sichtbar sind. Die entstandene Luftleere wird auch dadurch erkennbar, daß das Quecksilber nicht mehr in Tropfenform, sondern als zusammenhängender Faden abfließt.

Dieses der Wasserstrahlpumpe sehr ähnliche Prinzip ist nun zuerst von Sprengel zur Erzielung hoher Vakua nutzbar gemacht worden. Für die wirkliche technische Verwendung zum Großbetrieb handelte es sich nun darum, die Länge der verwendeten Kapillarröhren entsprechend abzukürzen, da für den möglichen Austritt in die atmosphärische Luft die Röhren die Barometerlänge haben müssen. Um die Verkürzung der Röhren nun ermöglichen zu können, war es notwendig, ein gewisses Vorvakuum anzuwenden, wie es heute auch bei den meisten Sprengelsystemen geschieht. Ein weiteres wichtiges Moment war, die Wirkungsweise der Pumpe derart zu steigern, daß ein Raum, entsprechend einer Glühlampe, in möglichst kurzer Zeit das notwendige Vakuum erhalten konnte. Dies wurde erreicht durch zweckentsprechende Anbringung von mehreren Kapillarfallröhren, die gleichzeitig mit vereinter Saugkraft das Evakuieren des Rezipienten veranlaßten. Schließlich mußte für einen kontinuierlichen Betrieb insofern gesorgt werden, daß der Zufluß des Quecksilbers derart geregelt wird, daß immer eine gewisse genügende Menge Quecksilber im Gefäß *A* vorhanden ist. Dies geschieht entweder mit maschinell betriebenen Hebewerken, die das nach *F* ausfließende Quecksilber wieder nach *A* befördern, oder mittels automatischer Vorrichtungen, die mit Benutzung des Maschinen-Vorvakuums ein selbsttätiges Emporsteigen des Quecksilbers nach *A* bewerkstelligen. Diese sehr wichtigen Punkte sind bei den neueren Modellen der Sprengelpumpen berücksichtigt worden mit dem Ergebnis, daß eine ganz hervorragend schnelle Wirkung erzielt wird. Im folgenden sollen nun einige der besten Sprengelpumpen beschrieben werden.

Eine der beliebtesten Ausführungen der Sprengelpumpe mit verkürzten Fallrohren rührt her von Dr. W. J. Nicol aus dem Jahre 1887 und wird jetzt in einer besonderen Modifikation von der bekannten Glasinstrumentenfabrik Schmidt & Schübel, Frauenwald in Thüringen, in bester Qualität hergestellt. Die Anordnung derselben ist die in Fig. 109 dargestellte, welche in ihren sämtlichen Teilen aus Glas gefertigt ist. Das Glasrohr *B* ist einerseits in die Kugel *A*, anderseits in den zylindrischen Behälter *C* eingeschmolzen und trägt in *A* zwei seitliche Ausflußöffnungen *D*. An die Kugel *A* sind die Verbindungsrohre *K* angesetzt, welche (in der Figur ist nur die eine Seite gezeichnet; in Wirklichkeit sind zwei Kapillarrechen angesetzt, um auf zwei Seiten das Evakuieren zu ermöglichen) mit den kleineren Behältern *L* verbunden sind, in welche wiederum das Rohr *M* eintaucht, das mit einem Gummischlauch luftdicht mit *L* verbunden ist. Dieses Rohr *M* ist in den sogenannten oberen Rechen *M* eingeschmolzen und trägt je nach der Anzahl der Kapillaren *O* eine Anzahl genau über den einzelnen Kapillaren angebrachte Löcher. An den oberen Rechen *M*, der, wie in der Zeichnung angegeben ist, immer einige Zentimeter unterhalb der oberen Kugel *A* angeordnet sein muß, sind die Kapillaren *O* angesetzt, welche bis dicht an den Boden des unteren Rechens *P* reichen. Der untere Rechen *P* muß derart konstruiert sein, daß immer eine gewisse Menge Quecksilber in demselben verbleibt, in dem die Kapillarenden eintauchen, und so einen sicheren Abschluß rückwärts nach den Lampen bildet. Die Abdichtung der Kapillaren mit dem unteren Rechen geschieht am besten vermittels der Gummischläuche *V*. Oberhalb der oberen Kugel *A* ist das Rohr *L* angesetzt, welches die Verteilungskugel *H* und eine Erweiterung mit dem eingeschliffenen Glasventil *G* trägt und mit der unteren Kugel *C* in Verbindung ist. Die Kugel *H* ist außerdem verbunden mit dem unteren Rechen *P*. An der anderen Seite der unteren Kugel *C* ist ein weiteres Rohr *W* angesetzt, welches die Sicherheitskugel *F* und einen Hahn trägt, während an die obere Kugel *A* eine weitere Sicherheitskugel *E* ebenfalls mit einem Hahn angebracht ist. Der obere Rechen *M* trägt weiter ein Rohr *Q* mit dem Hahn *R*, in dessen Trichterrohr *S* das Phosphorsäuregefäß *T* luftdicht eingesteckt ist, und welches in der gezeichneten Weise die zu evakuierenden Lampen trägt. Die Kugel *A* ist nun einmal mit der Vorvakuumpumpe, das andere Mal mit der Außenatmosphäre ver-

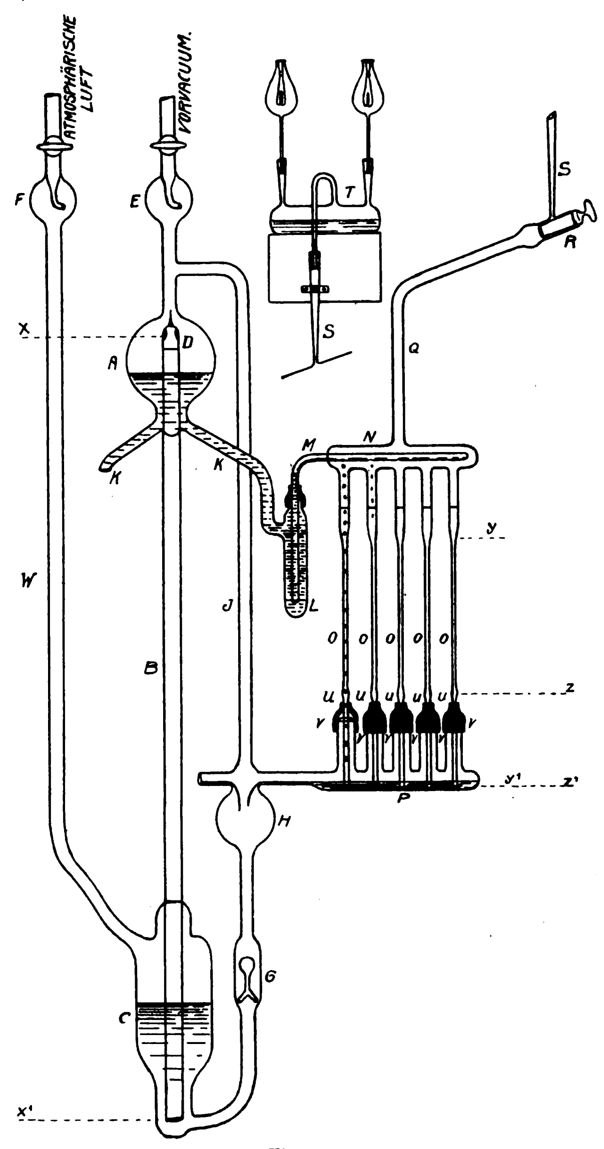

ATMOSPHÄRISCHE LUFT
VORVACUUM.
F
E
T
S
R
X
D
A
S
Q
M
N
K
K
y
W
J
L
B
O O O O O
U U U U U
z
V V
y' z'
P
H
G
C
X'

Fig. 109.

bunden, während die untere Kugel *C* vermittels des Rohres *W* und eines oberhalb der Sicherheitskugel angeordneten automatischen Reglers immer mit der Außenatmosphäre verbunden ist.

Die Wirkungsweise der Pumpe ist nun folgende: Beim Füllen der Pumpe befindet sich das gesamte Quecksilber in *C*. Wird nun der Hahn *E* nach der Vorvakuumpumpe und *F* nach der Atmosphäre geöffnet, so steigt das Quecksilber in *B* durch *D* nach *A* und fließt dann durch *KLM* nach dem Quecksilberverteiler *N* und durch die Kapillaren *O* durch *PH* und *G* nach *C* zurück, nachdem er seine Evakuiertätigkeit in den Kapillaren *O* verrichtet hat. Die mitgerissene Luft wird durch *J* von der Maschinenpumpe abgesaugt. Beim Wechsel des Reglers dringt die atmosphärische Luft nach *A* und treibt das Quecksilber durch die Kapillaren nach *C* zurück, während beim zweiten Wechsel durch das Vakuum das in *C* befindliche Quecksilber wieder nach *A* gelangt und von neuem sein Spiel beginnt. Um das Zurücksteigen des Quecksilbers nach *H* zu vermeiden, ist das Sicherheitsventil *G* angebracht.

Die Länge der Standröhre *B* zwischen der Ausflußöffnung in der oberen Kugel bei *D* und in der unteren Kugel *C* richtet sich selbstverständlich, ebenso wie die Längen der Kapillaren, je nach dem zu Gebote stehenden Vorvakuum. Um einen konkreten Fall anzunehmen, hat man die günstigsten Wirkungsgrade bei einem Vorvakuum von etwa 15 mm Quecksilbersäule bei folgenden Längenverhältnissen:

xx_1 zirka 760—780 mm,
yy_1 zirka 250—300 mm.

Die Durchmesser der Quecksilberausflußöffnungen im oberen Rechen *N* aus der Röhre *M* wählt man am besten zu 0,9 bis 1,0 mm, während der innere Durchmesser der Kapillaren *O* zwischen 2,1 und 2,3 mm schwanken kann. Der Einfluß des Quecksilbers in die Kapillaren muß, wie es aus der Zeichnung ersichtlich, trichterförmig ausgebildet sein, und hat man gefunden, daß bei genau zentraler Anordnung der Ausflußlöcher über den Kapillaren die schnellste Entluftung erzielt wird.

Geht die Evakuierung ihrem Ende zu, so bemerkt man dies daran, daß die aus den Ausflußöffnungen der Kapillaren *O* in *P* austretenden Luftbläschen immer kleiner und kleiner werden, bis sie schließlich vollständig verschwinden. In diesem Stadium erfolgt ein ganz kräftiges Aufschlagen der herabfallenden Quecksilbertropfen etwa bei *U* auf den im unteren Teil der Kapillaren befindlichen Quecksilberfaden, da jetzt

jede Dämpfung der Schläge infolge des Fehlens von Luftresten aufhört. Das Quecksilber spritzt deshalb dort kräftig in die Höhe und wirkt nun auf den unteren Teil der Kapillaren wie ein scharfes Messer, welches die Kapillaren mit der Zeit aufreißt und schließlich zertrümmert. Es treten dann, sofern man keine genügenden Hilfsmittel gegen das Zerreißen der Kapillaren anwendet, sehr oft notwendige Reparaturen durch Auswechseln der Kapillaren ein. Als recht gut geeignetes Mittel, um ein baldiges Undichtwerden der Kapillaren zu verhindern, hat sich ein Überziehen der gefährdeten Teile mit einer alkoholätherischen Kollodiumlösung herausgestellt. Eine 6%ige Kollodiumlösung wird, wie Fig. 110 *a* zeigt, über die Kapillare gestrichen (am besten durch bloßes Eintauchen und Abtropfenlassen der Kollodiumlösung), die dann nach dem Eintrocknen eine ungemein feste und dichte Haut bildet, welche infolge ihrer Durchsichtigkeit die Beobachtung des Evakuiervorganges nicht verhindert. Tritt nun Aufreißung der Kapillaren auf, so wird das Eindringen äußerer Luft durch die Risse infolge der absolut dichten Kollodiumhülle nicht möglich sein, und kann deswegen die Kapillare viel länger in Gebrauch bleiben, als es sonst der Fall sein würde.

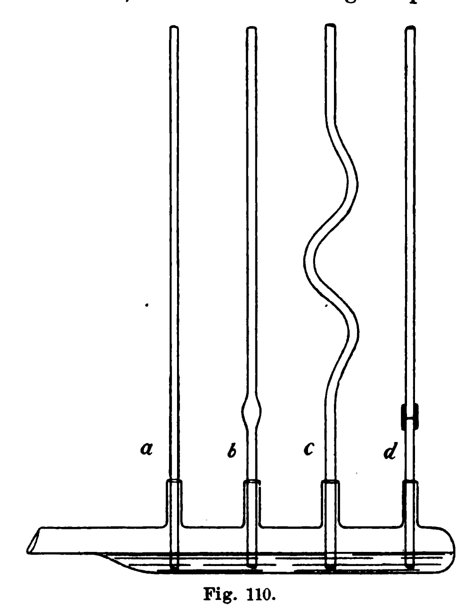


Fig. 110.

Fig. 110 *b* zeigt eine Kapillare der Firma Schmidt & Schübel, Frauenwald, bei welcher die Kapillare an der gefährlichsten Stelle zu einer ovalen Kugel ausgebildet ist. Diese Erweiterung hat sich in der Praxis ganz vorzüglich bewährt, da durch dieselbe das Zurückschlagen des Quecksilbers ganz erheblich gemildert wird und Reparaturen infolge Zerschlagens der Kapillaren an dieser Stelle nur noch in

geringem Maße vorkommen. Am günstigsten gestaltet sich das Verhältnis bei einem inneren Durchmesser der Erweiterung von etwa 10 mm und bei einem Abstand der Kugel vom unteren Ende der Kapillaren von ca. 90—100 mm. (Fig. 109 ZZ_1.)

Um den Übelstand des Zerschlagens der Kapillaren gänzlich zu vermeiden, hat man auch, wie in Fig. 110*d* angedeutet ist, den unteren Kapillarteil aus Metall angefertigt (Stahl, Silber usw.) oder auch die ganze Kapillare aus Metallrohr verwendet. Die Verbindung der Metallröhren mit den Glasteilen geschah vermittels dicht schließender Gummischläuche. Wie aber überall, wo Quecksilber mit Metallen in innigen Kontakt kommt, verschmutzte sich sehr bald das Quecksilber und wurde deshalb unbrauchbar. Ein weiterer Übelstand dieser Anordnung lag auch darin, daß die Beobachtung des Evakuiervorganges illusorisch wurde, so daß heute derartige Kapillaren nirgends mehr in Anwendung sind.

Schließlich sei noch eine in Fig. 110*c* dargestellte Formenänderung der Kapillaren angegeben, die infolge des bogenartigen, gewundenen Mittelteiles eine schnellere Saugwirkung veranlassen soll, bei gleichzeitiger Verminderung der Zertrümmerungsgefahr. Der Verfasser hat jedoch bei eingehenden Parallelversuchen keine besonders in die Augen fallende schnellere Wirkung beobachten können.

Den Gedanken, spiralförmig gewundene Kapillarfallröhren zur Erzielung einer gleichmäßigen Saugwirkung zu benutzen, hat Maurice Bloch, Berlin[1]), in seiner Konstruktion einer selbsttätigen Sprengelpumpe weiter ausgebaut. Um eine tadellose Wirkung zu erzielen, wird bei der vorliegenden Quecksilber-Sprengelpumpe (Fig. 112) der Fallröhre das Quecksilber jeweilig in größeren Mengen und entsprechenden Zwischenräumen zugeführt, so daß das Quecksilber wie ein längerer Kolben wirkt und ein vollkommener Abschluß nach dem zu evakuierenden Raum erzielt wird. Diese Einrichtung ermöglicht dann auch, den Weg des Quecksilbers in der Fallröhre zu vergrößern, derselben also die schon erwähnte Form eines Schlangenrohres zu geben und auf diese Weise den von zwei aufeinanderfolgenden Quecksilbermengen eingeschlossenen Raum erheblich zu vergrößern und den Wirkungsgrad der Einrichtung zu erhöhen, ohne daß es nötig ist, zum Betrieb der Pumpe mehr Quecksilber als bisher zu verwenden. Fig. 111 *1*

---

[1]) D.R.P. 70035 vom 16. Oktober 1892.

der Zeichnung stellt den in Betracht kommenden Teil einer solchen Quecksilberluftpumpe dar, Fig. 111 *2* und *3* zeigen Einzelheiten.

Von dem Quecksilberbehälter A erstreckt sich ein mit Hahn a^1 versehenes Kapillarrohr a in den unterhalb dieses Behälters angeordneten Tropfapparat B. Letzterer steht durch ein seitlich abgebogenes Rohr b mit dem luftleer zu machenden Behälter in Verbindung, während er unten in das von seinem Boden ausgehende, spiralförmig gewundene Fallrohr D endigt. Der Tropfapparat wird mittels eines, zwecks Abdichtung mit einer Öl- oder Quecksilberschicht bedeckten Stopfens verschlossen, an welchem zwei Stangen befestigt sind, in deren Drehpunkt die Wippe oder Schale B_1 (Fig. 111 *2*) drehbar gelagert ist. Die gewundene Fallröhre D mündet in ein Gefäß E, welches einerseits durch ein Röhrensystem e mit einer Vorpumpe, beispielsweise einer Wasserstrahlpumpe, in Verbindung steht, während sie anderseits durch ein Rohr f mit Absperrhahn F an den Auffangbehälter G angeschlossen ist. Nachdem die Vorpumpe angelassen und in sämtlichen Räumen der Quecksilberpumpe eine Luftverdünnung hergestellt ist, wird der Hahn a_1 geöffnet. Das Quecksilber fällt nun zunächst tropfenweise durch die Kapillarröhre a in die Wippe B^1. Sobald die Wippe, wie in Fig. 111 *2* punktiert angedeutet, bis zu einem gewissen Grad gefüllt ist, verliert sie infolge ihrer Form das Gleichgewicht, kippt um und ergießt plötzlich ihren Inhalt in die Fallröhre D, so daß das Quecksilber die Luft aus dem zu evakuierenden Behälter mit sich reißt. Die Entleerung der Wippe erfolgt in Zeitabschnitten von $1/2$ bis 1 Minute, um der Luft in dem zu entleerenden Behälter Zeit zum Ausdehnen und Loslösen von den Wendungen zu lassen. Anstatt der Wippe B_1 kann auch eine feste Schale B_2 (Fig. 111 *3*) angewendet werden, welche einen seitlichen Ausschnitt hat, über welchen das Quecksilber überströmt, sobald die Schale, wie punktiert angedeutet, bis zu einem gewissen Grade angefüllt ist. Die Luft, welche durch das in der gewundenen Fallröhre D sich nach abwärts bewegende Quecksilber in den Behälter E befördert ist, wird durch die Vorpumpe abgesaugt, während das Quecksilber im Behälter G aufgefangen wird. Durch die Öffnung des Hahnes J des Rohrstutzens G_1 kann der Auffangbehälter G mit der Atmosphäre in Verbindung gesetzt werden, um das Quecksilber durch die vom Boden des Auffangbehälters abgehende und oberhalb des

Quecksilberbehälters *A* mündende Steigröhre *H* in den Quecksilberbehälter emporzudrücken, wonach das Pumpen von neuem beginnen kann.

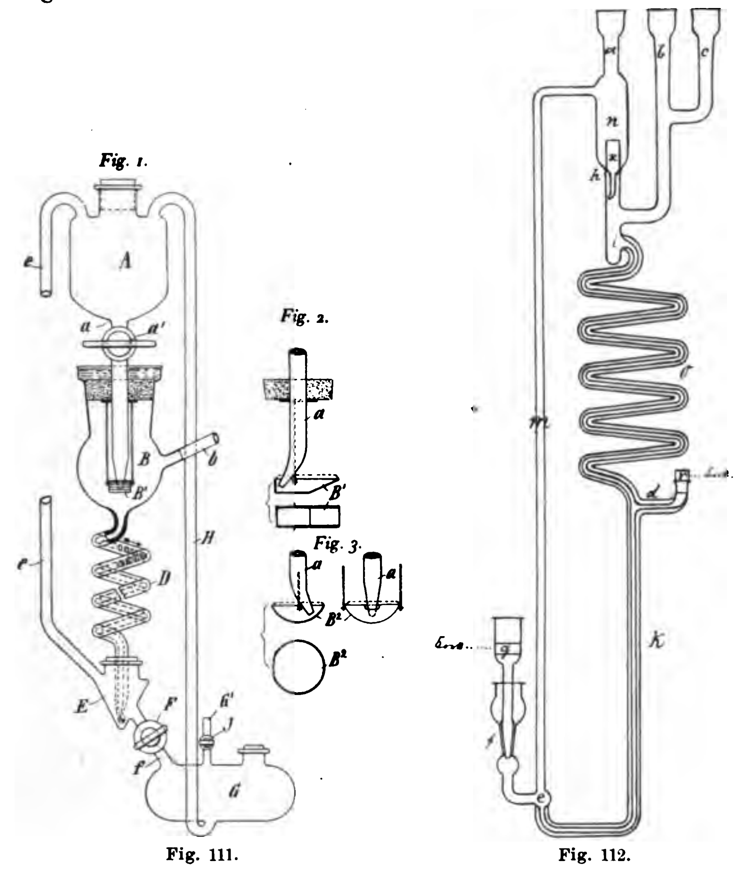


Fig. 111. Fig. 112.

Um das Zerschlagen der Fallröhren zu vermindern und die Betriebsfähigkeit der Sprengelpumpe zu verlängern, wendet Dr. Albert Beutell, Santiago in Chile[1]), folgende in Fig. 112 beschriebene Anordnung an. Beutells Erfindung

[1]) D.R.P. 178136 vom 19. Januar 1906.

bezieht sich auf eine Sprengelpumpe der schon beschriebenen Arten und besteht darin, daß an das Fallrohr *k* ein Luftzuführungsröhrchen *d* angeschmolzen ist, welches fortwährend etwas Luft von der Außenatmosphäre eintreten läßt, so daß das Quecksilber stets auf ein elastisches Luftkissen fällt, welches die Kraft seiner Schläge bricht und dadurch das Zerschlagen des Fallrohres vermeidet. Damit das Quecksilber durch Staubteilchen, die von der eintretenden Luft mitgeführt werden, nicht verunreinigt wird, filtriert man die in die Pumpe einsickernde Luft durch ein Luftfilter, Kork und dergl. Das Quecksilber befindet sich in dem zylinderförmigen Gefäß *n*, das nach unten bei *h* durch ein eingeschliffenes Röhrchen *x* abgeschlossen ist. Das aus dem Röhrchen *x* in dünnem Strahl ausfließende Quecksilber tritt bei *i* tropfenweise in den zickzackförmig gebogenen Teil des Fallrohres *o* und kommt noch, bevor es in dem geraden Teil *k* seine höchste Geschwindigkeit erreicht hat, mit der bei *d* einfiltrierten Luft in Berührung, so daß die Schläge gemildert werden. Hierauf gelangt es in das Steigrohr *m*, welches in den Quecksilberbehälter *n* mündet. Durch die Öffnung *g*, die in der Zeichnung ebenfalls durch einen als Luftfilter dienenden Korken abgeschlossen ist, tritt bei *e* eine weitere Luftmenge in die Pumpe, welche die Aufgabe hat, das Quecksilber nach oben zurückzubefördern. In *a* ist das Verbindungsröhrchen für die Wasserstrahlpumpe eingeschliffen, in *b* befindet sich das zum Messen des erreichten Vakuums dienende Manometer, und in *c* wird das Rohr eingesetzt, welches die Gabel mit den auszupumpenden Glühlampen trägt. Ein recht wichtiger Punkt und großer Vorteil dieser Anordnung ist, daß die für den Betrieb notwendige Quecksilbermenge nur etwa 150 ccm beträgt.

Um die Pumpe in Gang zu setzen, genügt es, alle Schliffe mit Quecksilber abzudichten und den Hahn für die Wasserstrahlpumpe zu öffnen. Sobald das Manometer bis auf etwa 2 cm Druck Quecksilbersäule gefallen ist, läßt man durch Lüften des Schliffes *f* die nötige Quecksilbermenge eintreten. Von nun an arbeitet die Pumpe selbsttätig und ohne jede Aufsicht.

Charles Henry Stearn[1]) in Newcastle upon Tyne hat ebenfalls ein Modell einer Sprengelpumpe geschaffen, bei welcher eine Verkürzung der Fallröhren eintritt und ein

[1]) D.R.P. 20999 vom 1. April 1882.

automatisches Rückbefördern des Quecksilbers ermöglichtwird. Fig. 113 veranschaulicht diese Pumpe. *A* bezeichnet die Quecksilberfallröhre. Dieselbe ist mittels eines dicht schließenden Stöpsels aus Gummi in die äußere Röhre *B* eingedichtet, welche durch eine Röhre *c* mit dem oberen Reservoir *C* und durch Röhren *b d* mit dem unteren Reservoir *D* in Verbindung steht. Das obere Reservoir *C* kommuniziert mittels eines Hahnes c_1 und einer biegsamen anderen Röhre c_2 mit einer gewöhnlichen Luftpumpe, wird aber, sobald hierdurch eine hinreichende Luftverdünnung geschaffen ist, durch Schließen des Hahnes c_1 nach c_2 hin abgeschlossen. Anstatt des Hahnes kann auch ein Ventil angewendet werden.

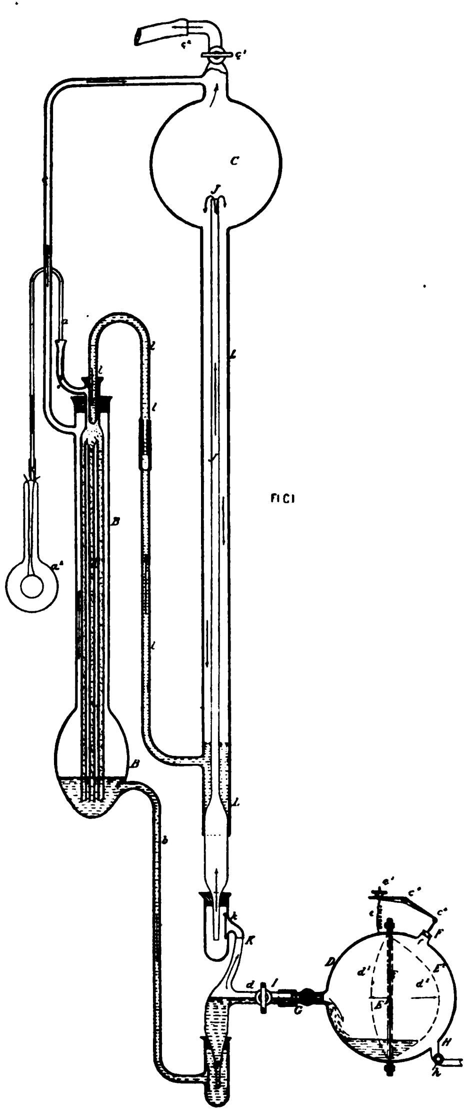


Fig. 113.

Das untere Reservoir *D* bildet in der Figur eine kugelförmige Kammer, die sich aus zwei Halbkugeln zusammensetzt und von einer Feder *e* getragen wird. Letz-

tere ist adjustierbar an dem einen Arm eines Hebels befestigt, dessen Drehpunkt c_4 sich an einem geeignet placierten Ständer befindet. Das Innere des Reservoirs *D* ist durch ein Diaphragma *E* aus Kautschuk oder sonstigem schmiegsamen Material in zwei Abteilungen d^1 und d^2 geteilt, und *F* ist ein Ventil von am besten konischer Form, welches in die Öffnung *f* luftdicht eingeschliffen ist und so lange geschlossen bleibt, als das Reservoir *D* leer oder doch noch nicht schwer genug ist, um der Feder *e* entgegenzuwirken.

Hat sich aber eine gewisse Menge des gefallenen Quecksilbers darin angesammelt, so geht der Behälter *D*, indem er sich in dem Gelenk *G* dreht, nieder und öffnet das Ventil *F* für die Kommunikation mit der äußeren Atmosphäre. Der Grad der Empfindlichkeit der Feder *e* läßt sich mittels der Mutter e^1 regulieren. Das Ventil *F* seinerseits ist an dem Arm c^8 des um c^4 drehbaren Hebels aufgehängt und wird, je nachdem das Reservoir *D* steigt oder fällt, selbsttätig geschlossen oder geöffnet. Das Gelenk bei *G* kann eine beliebige Einrichtung haben, vorausgesetzt, daß es die Bewegungen des Reservoirs gestattet, ohne dessen Kommunikation mit dem Hauptkörper des Apparates zu verhindern.

Vom Boden des Reservoirs *D* führt eine mit Absperrhahn *h* oder Ventil versehene Röhre *H* nach einer anderen gewöhnlichen Luftpumpe, und ein Hahn *J* in der Röhre *d* dient zur Absperrung des Behälters *D* von dem Hauptteil des Apparates.

An die Röhre *d* schließt sich die gekrümmte Röhre *K* und an diese wieder die engere Röhre *J* an, welche im Innern der Röhre *L*, die am oberen Ende den Behälter *C* trägt, hinaufgeht und somit eine direkte Verbindung zwischen *D* und *C* ermöglicht.

Das untere Ende der Röhre *L* steht mit dem oberen Teil des Innern der zusammengesetzten Fallröhre *A* durch eine Röhre *l* in Verbindung, durch welche das Quecksilber der Pumpe zugeführt wird. *a* ist die Saugröhre, welche mit dem oberen Teil der Fallröhre *A* zusammenhängt und an ihrem freien Ende den luftleer zu machenden Körper a^1 trägt.

Das Ventil b_1 am unteren Ende der Röhre *b* öffnet sich nach der Seite des Reservoirs *D*, um dem gefallenen Quecksilber zu der gehörigen Zeit den Eintritt in diesen Behälter, nicht aber den Austritt aus demselben zu gestatten. Das Ventil *k* am oberen Ende der gekrümmten Röhre *K* öffnet sich nach der entgegengesetzten Richtung, damit das gesammelte

Quecksilber nach der mit dem Behälter C kommunizierenden Röhre J steigen, jedoch nicht wieder daraus zurückfließen kann.

Angenommen nun, daß eine ausreichende Menge Quecksilber in den unteren Behälter D eingeführt worden ist, so geht dieser nieder und bewirkt dadurch das Öffnen des Ventils F. Hierauf saugt die sich an die Röhre c_2 anschließende Luftpumpe, welche mittels eines Motors in beständiger Bewegung erhalten wird, die Luft aus dem oberen Behälter C, der Röhre B, dem zu evakuierenden Körper a_1 und ihren Verbindungsröhren teilweise heraus. Öffnet man dann den Hahn J, so verursacht der Druck der durch Ventil F eindringenden atmosphärischen Luft, daß das Diaphragma E sich nach der Richtung des Pfeiles E_1 bläht und das Quecksilber durch die Röhren d und K und aufwärts durch die Röhren J in den Behälter C treibt, von wo durch die Röhren L und e nach der Fallröhre A gelangt und darin in derselben Weise zur Wirkung kommt wie in den gewöhnlichen Sprengelschen Quecksilberluftpumpen.

Mit dem Grade, nach welchem das Quecksilber so auf automatischem Wege auf ein höheres Niveau gebracht wird, nimmt auch das Gewicht des Behälters D ab, bis schließlich die Feder e das Übergewicht erlangt und die Schließung des Ventiles F gegen weiteres Einströmen atmosphärischer Luft herbeiführt. Ist dies geschehen und der Behälter D von Quecksilber leer, so wird der Hahn h geöffnet, so daß die an die Röhre H sich anschließende Luftpumpe die Abteilung d_2 hinter dem Diaphragma E leer saugt. Infolgedessen bläht sich letzteres zu der in punktierter Linie E_2 angegebenen Position aus, und nun fließt das Quecksilber aus dem unteren Teile der Röhre B durch die Röhre b Ventil b_2 und Röhre d nach dem unteren Behälter D zurück. Dies hat aber ein neuerliches Niedergehen von D bzw. Öffnen von Ventil F zur Folge, und hiermit beginnt das beschriebene Spiel von neuem. Um ein absolut selbsttätiges Funktionieren zu veranlassen, ohne es nötig zu haben, die Hähne nach den Pumpen zur richtigen Zeit mit der Hand zu drehen, kann man die Hilfe eines Elektromagneten benutzen. Der Elektromagnet muß dann so angeordnet sein, daß dessen Leitung, wenn das Quecksilber in D eine gewisse Höhe erreicht hat, geschlossen und hierdurch die Drehung des Hahnes bewirkt würde.

Eine weitere brauchbare Modifikation der selbsttätig wirkenden Sprengelpumpe hat sich H. Boas in Berlin[1])

[1]) D.R.P. 80514 vom 14. Juni 1894.

patentieren lassen. Die in Fig. 114 dargestellte Konstruktion umgeht die vielen Schmelzstellen an den Glasrohren dadurch, daß der gesamte Pumpapparat in ein Vorvakuum eingestellt

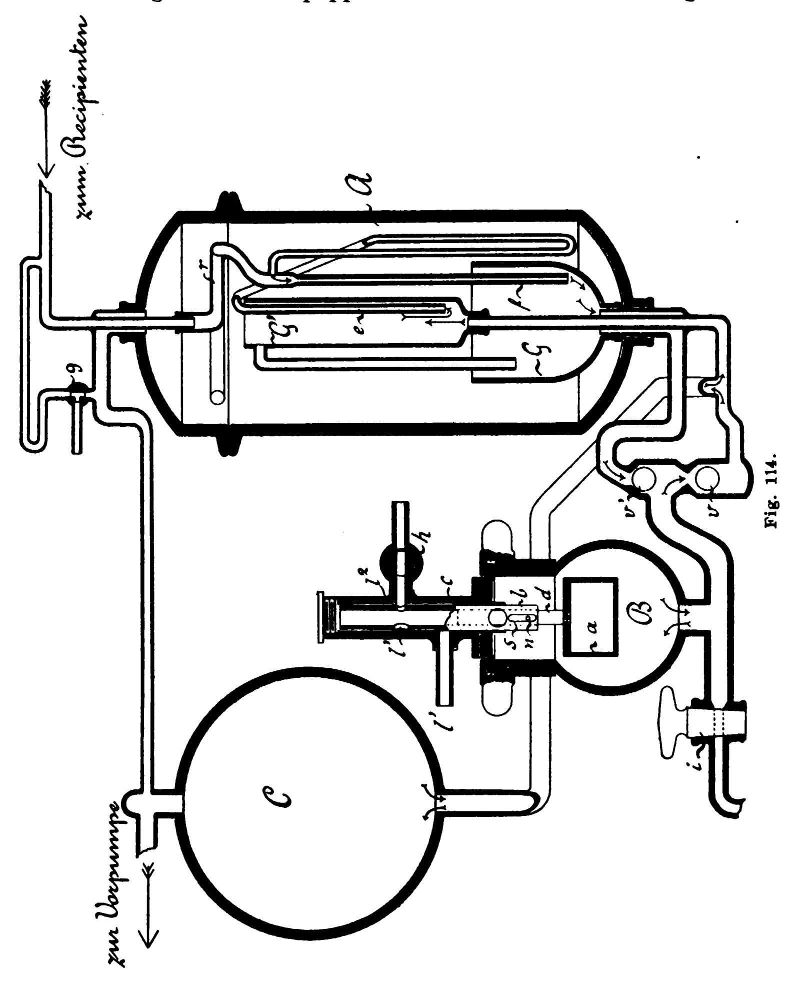


Fig. 114.

ist. Bei der vorliegenden Einrichtung versieht sich außerdem jede der einzelnen Fallröhren selbsttätig mit dem nötigen Quecksilber durch einen Heber, welcher in dem Augenblick

in Wirksamkeit tritt, wo ein Quecksilberniveau einen bestimmten Stand überschreitet. Durch Wahl der geeigneten Rohrweiten dieser Heber hat man die durchfließenden Quecksilbermengen beliebig in der Hand.

In der Zeichnung, welche die Pumpe samt ihrer Einrichtung für den automatischen Betrieb darstellt, ist der Übersichtlichkeit wegen nur eine Fallröhre nebst ihrem zugehörigen Heber gezeichnet; dieselbe hat nur eine Anschmelzstelle an dem Rohrring r; im übrigen ragt sie mit ihrem unteren Ende frei in Quecksilber, welches sich im Gefäß G befindet, während der Heber in das im Gefäß G_1 befindliche Quecksilber eintaucht. Das an Gefäß G_1 oben angeschmolzene und nach unten umgebogene Rohr dient dazu, überschüssiges Quecksilber in das untere Gefäß zu befördern, ohne daß dasselbe im Innern der Pumpe herumspritzt. Diese eben beschriebene Pumpeinrichtung ist nun in eine aus zwei Teilen bestehende große gläserne Umhüllungsglocke A, welche von der Vorpumpe evakuiert wird, mittels zweier Schliffe luftdicht eingesetzt. Die selbsttätige Druckeinrichtung B, welche den Zweck hat, das im Gefäß G sich ansammelnde Quecksilber auf das höher liegende Niveau des Behälters G_1 zu drücken, wirkt nur durch den Wechsel von Vakuum- und Atmosphärendruck. Die links sichtbare Kugel C dient als Sammelgefäß, um die Stöße des emporgedrückten Quecksilbers abzuschwächen. Die beiden letzteren Apparate sind ebenfalls mit der Vorpumpe verbunden. Die selbsttätige Einrichtung ist im Prinzip ein Schieberventil, welches durch einen auf dem Quecksilber ruhenden Schwimmer a in Bewegung gesetzt, den Hohlraum wechselweise durch e_1 mit dem Vakuum, durch e_2 mit der Atmosphäre in Verbindung setzt. Die expandierende, in den Hohlraum einströmende Luft, deren Menge sich durch den Hahn h regulieren läßt, drückt das darin befindliche Quecksilber durch das Gummikugelventil v in die Kugel C und in das Gefäß G_1. Sobald der Schwimmer a und mit ihm das Stahlrohr b, welches in der Büchse c gut luftdicht verschiebbar ist, auf seinem tiefsten Stand anlangt, wird das Gefäß wieder mit dem Vakuum durch das Loch e_1 in Verbindung gebracht. Infolgedessen strömt jetzt durch das Ventil v_1 vom Gefäß G Quecksilber nach dem Gefäß B, hebt den Schwimmer, welcher mit der Führungsstange d und der Nase n im Schlitz s ein Stück leer geht, dann aber das Schieberrohr b mitnimmt und durch dasselbe und das Loch b_2 mit der Atmosphäre in Ver-

bindung setzt, wodurch das Spiel von neuem beginnt. Um die Pumpe in Betrieb zu setzen, evakuiert man den ganzen Apparat, indem man durch geeignete Stellung des Dreiwegehahnes *g* dafür sorgt, daß der auszupumpende Rezipient ebenfalls evakuiert wird. Durch Öffnen von Hahn *i* unter Quecksilber läßt man die nötige Menge in die Pumpe eintreten. Wenn das Vakuum im Apparat seinen tiefsten Stand noch nicht ganz erreicht hat, stellt man den Hahn *g* so, daß jetzt der Rezipient allein weiter entleert wird. Durch den nun in *A* entstehenden Überdruck wird Quecksilber über den höchsten Punkt des Hebers *e* gedrückt und fällt durch die Fallröhre *f* herab, gleichzeitig aus dem Rezipienten die Luft mit fortreißend. Sobald dieser Moment eingetreten ist, schließt man bei *g* jede Verbindung ab und hat nun nur durch passende Regulierung des Hahnes *h* dafür zu sorgen, daß die Menge des durch *B* gehobenen Quecksilbers sich der durch die Fallröhren durchfließenden anpaßt.

Die von Maurice Bloch in Berlin[1]) konstruierte selbsttätige Quecksilberpumpe kennzeichnet sich dadurch, daß ohne Anwendung beweglicher Gefäße oder Gefäßwandungen das Quecksilber aus dem unteren Auffangbehälter nach dem oberen, zur Speisung des Fallrohres dienenden Gefäß selbsttätig zurückbefördert wird, sobald der Auffangbehälter bis zu einer gewissen Höhe mit Quecksilber angefüllt ist. Zu diesem Zwecke ist in dem Rohr, welches das Fallrohr mit dem Auffangbehälter verbindet, ein Hahn eingeschaltet, der periodisch durch Vermittelung eines Laufwerkes so gedreht wird, daß er einmal die Verbindung des Auffangbehälters mit dem Fallrohr aufhebt und gleichzeitig die Verbindung des genannten Behälters mit der Atmosphäre herstellt, das andere Mal aber umgekehrt die Verbindung des Behälters mit der Atmosphäre aufhebt und den Behälter mit dem Fallrohr verbindet. Diese Tätigkeiten werden durch die Veränderung der Quecksilberspiegel in dem Auffangbehälter und dem oberen Quecksilberbehälter vermittelt, indem diese Spiegel auf elektrischem Wege ein Laufwerk zur Betätigung des Hahnes beeinflussen.

In der Zeichnung veranschaulicht Fig. 115 *1* die Gesamtanordnung einer solchen Quecksilberluftpumpe, Fig. 115 *2* die Konstruktion des Hahnes selbst in zwei Schnitten.

---

[1]) D.R.P. 70522 vom 6. Oktober 1892.

Die Quecksilberluftpumpe besteht hier aus dem oberen Quecksilberbehälter *a*, an welchen sich der mittels Hahnes a^1 in Betrieb setzbare Strahlapparat *b* anschließt. Wenn das Quecksilber in die Fallröhre *c* fließt, reißt es die Luft aus dem zu entleerenden Raum *d* mit sich. Das Fallrohr *c* wird von einem Mantel *e* umschlossen, welcher durch ein Röhrensystem *f* mit Kugelventilen $f^1 f^2$, Manometer f^3 und Behälter f^4 mit einer Vorpumpe, zweckmäßig einer Strahlpumpe, in Verbindung steht.

Die Ventile f^1 f^2 ermöglichen eine mehrfache Anordnung der Quecksilberpumpen bei Anwendung von nur einer großen Vorpumpe derart, daß beim Schadhaftwerden einer Pumpe die anderen ruhig weiter arbeiten.

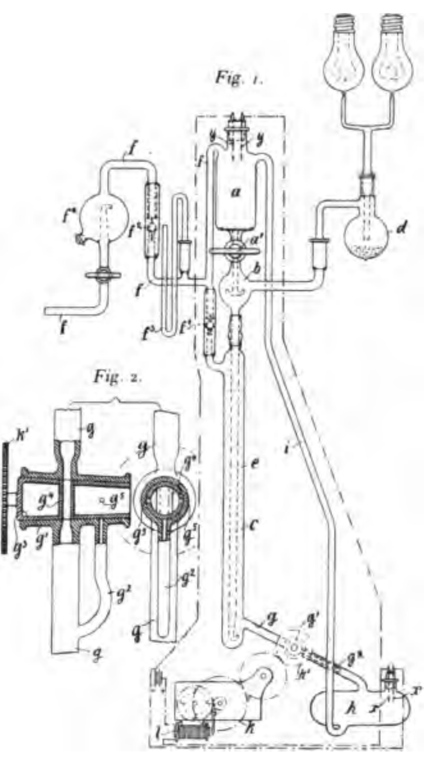


Fig. 115.

Behälter f^2 dient als Fänger für etwa aus der Vorpumpe zurücktretendes Wasser und verhindert den Eintritt dieses Wassers in die Quecksilberpumpe. Unterhalb der Ausflußöffnung des Fallrohres *c* schließt sich dem Mantel *e* ein Ausflusrohr *g* an, welches in den zum Auffangen des Quecksilbers dienenden Behälter *h* mündet. Dieser Behälter wird durch ein von seinem Boden ausgehendes Steigrohr *i* mit dem oberen Quecksilberbehälter *a* verbunden, und zwar mündet das Steigrohr *i* oberhalb des Quecksilberspiegels in den Behälter *a*. Im Ausflußrohr *g* ist das in Fig. 115 *2* im Schnitt gezeigte Hahngehäuse g^1 angeordnet, welches an beiden Seiten offen ist, und von dessen Wandung ein Zweigrohr g^2 ausgeht, das vor dem

Auffangbehälter h in das Rohr g einmündet. Das Hahnküken g^3 ist hohl und an einem Ende ebenfalls offen, während die Durchgangsleitung zwischen dem Mantel e und dem Auffangbehälter h durch ein besonderes Rohr g^4 oder einen Kanal des Kükens gebildet wird. Senkrecht zu diesem Rohr g^4 sind in der Kükenwandung zwei diametral gegenüberliegende Löcher g^5 g^5 vorgesehen, von welchen je eines bei Schluß des Hahnes mit der Zweigleitung g^2 zusammenfällt und dadurch den Auffangbehälter h durch das hohle und offene Hahnküken mit der Atmosphäre in Verbindung setzt.

An dem geschlossenen Ende des Hahnkükens ist ein Getriebe k^1 angeordnet, das mit einem durch den Elektromagneten l auslösbaren Laufwerk k in Verbindung steht.

Nachdem die Vorpumpe in Gang gesetzt und in sämtlichen Räumen der Quecksilberpumpe eine Luftverdünnung hergestellt ist, wird der Hahn a^1 geöffnet. Das Quecksilber fällt nun in die Fallröhre c, die Luft aus dem Rezipienten d mit sich reißend, welch letztere aus dem Mantel durch die Vorpumpe fortgeschafft wird. Das in den Auffangbehälter h gelangende Quecksilber schließt bei einem gewissen Stande des Quecksilbers durch Berührung der eingeschmolzenen oder durch einen Stopfen hindurchgeführten Stromschlußdrähte x einen elektrischen Stromkreis, so daß der Elektromagnet l betätigt und das Laufwerk k ausgelöst wird. Das Laufwerk ist nun so eingerichtet, daß das Hahnküken g^3 bei jeder Auslösung um 90° gedreht wird, worauf es zum Stillstand kommt. Bei dieser Drehung um 90° wird die Verbindung des Auffangbehälters h mit dem Mantel e abgesperrt und der Atmosphäre durch Vermittelung des Rohres g^2 und einer Öffnung g^5 hergestellt, so daß nun das Quecksilber aus dem Behälter h durch den Druck der äußeren Atmosphären mittelst des Rohres i nach dem mit der Vorpumpe verbundenen Behälter a hinaufbefördert wird, bis es hier bei einem gewissen Stande durch Berührung der Stromschlußdrähte y y einen zweiten Stromkreis schließt, der Elektromagnet von neuem betätigt, das Laufwerk k ausgelöst und der Hahn g^3 um 90° weitergedreht wird, so daß nun die Verbindung des Auffangbehälters h mit der Atmosphäre aufgehoben, die Verbindung zwischen dem Mantel e und dem Auffangbehälter h hingegen wiederhergestellt ist.

Die Quecksilberpumpe arbeitet ununterbrochen, da die Stromschlußdrähte in den Auffangbehälter h derart eingestellt

sind, daß das Quecksilber aus letzterem bereits nach dem oberen Quecksilberbehälter *a* befördert wird, bevor das in diesem befindliche Quecksilber eingelaufen ist.

Das ruhige, ununterbrochene Arbeiten der Pumpe wird ferner durch das Kugelventil f^1 gesichert, welches während der Quecksilberbeförderung von unten nach oben jeden Luftzutritt zum Mantel *e* verhindert, während die verbrauchte atmosphäriche Luft das Kugelventil f^2 passiert, bis in *e* und *f* gleiche Luftverdünnung herrscht.

Anstatt der dargestellten Konstruktion des Fallrohres können auch andere Anordnungen und Einrichtungen desselben benutzt werden. Ferner könnte man an Stelle eines einzigen Hahnes g^3 auch deren zwei anwenden, von denen der eine die Verbindung des Behälters *h* mit dem Mantel *e*, der andere die Verbindung des Behälters *h* mit der Atmosphäre steuert. Die dargestellte Vereinigung der beiden Hähne ist jedoch vorzuziehen.

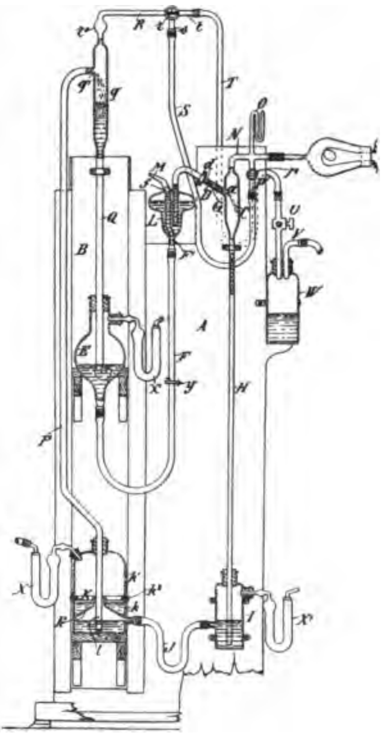


Fig. 116.

Die von Dr. phil. Georg W. A. Kahlbaum in Basel[1]) konstruierte Quecksilberluftpumpe besteht aus einer eigentlichen Quecksilberpumpe und dem durch eine gewöhnliche Vakuumpumpe betätigten Quecksilberhebeapparat.

In Fig. 116 ist dieser Apparat in Vorderansicht und teilweise in Vertikalschnitt dargestellt. Sämtliche Teile sind an einem Holzgestell *A* und an dem an demselben angeordneten

[1]) D.R.P. 63631 vom 15. September 1891.

und in vertikaler Richtung verschiebbaren Schlitten *B* angebracht.

In den am Gestell *A* befestigten Pumpenkörper *C* mündet seitlich, bei *a*, das Zuleitungsrohr *D*, das mit dem Quecksilberbehälter *E* von bekannter Form durch einen Gummischlauch *F* verbunden ist. In das Zuleitungsrohr *D* ist bei *d* ein engeres Rohr *C* eingeschmolzen, dessen Durchmesser um etwas geringer gewählt ist als die Lichtweite des am Pumpenkörper *C* angeschmolzenen Fallrohres *H*. Das engere, eingeschmolzene Rohr *C* sowie auch die Länge des Fallrohres *H* sind für die Leistungsfähigkeit des Apparates von allergrößter Wichtigkeit, da durch diese beiden Einrichtungen ein Stauen des Quecksilbers im Fallrohr und bis in den Pumpenkörper hinauf unmöglich gemacht wird, so daß durch dieselben die Schnelligkeit des Evakuierens ganz außerordentlich gesteigert wird und erst durch dieselbe das Sprengelsche Prinzip der Praxis in erhöhtem Maße dienstbar gemacht wird.

Das Sprengelsche Prinzip des fallenden, Luft mitführenden Quecksilbers muß theoretisch zum absoluten Vakuum führen; dem entgegensteht die Tatsache, daß das Quecksilber stets eine geringe Menge Luft aufnimmt und diese beim Fallen wiederum an das Vakuum der Pumpe abgibt. Diesem Übelstand abzuhelfen, ist dem Zuleitungsrohr *D* der Luftfang *L* vorgelegt; derselbe besteht aus einem pilzförmigen Glasgefäß, in das von unten das Zuleitungsrohr F^1 eingeschmolzen ist, dessen obere Öffnung bei *f* bis in den Tubulus *M* reicht. Das Leitungsrohr *D* ist dem Gefäß von oben her gerade in entgegengesetztem Sinne eingeschmolzen.

In den oberen Teil des Pumpenkörpers *C* mündet die kreisförmig umgebogene Glasröhre *N* ein, welche direkt mit dem auszupumpenden Behälter (Glühlampe usw.) verbunden ist. Dieselbe trägt ein Manometer *O* und einen mit Hahn *p* versehenen Stutzen P^1. Das untere offene Ende des Fallrohres *H* reicht beinahe bis auf den Boden der am Gestell *A* befestigten Flasche *I*, welche durch einen Gummischlauch *J* mit dem unteren Teil *k* der am Schlitten *B* angebrachten zweiteilichen Woulfschen Flasche *K* verbunden ist. In den unteren Teil *K* dieser Flasche ist ein trichterförmiger, mit einer zentralen Öffnung versehener Deckel k^0 in halber Höhe eingeschmolzen, und der Raum zwischen diesem Deckel k^0 und der oberen Hälfte der Wandung des Gefäßes *k* ist mit Phosphorsäureanhydrid ausgefüllt, so daß der vorgetrockneten

und durch eine Trockenröhre X eintretenden Luft auch die letzten Spuren von Feuchtigkeit entzogen werden. In den oberen, durch den Doppelrand gebildeten Falz k^2 von k ist die obere Hälfte k^1, welche die Form eines Flaschenkörpers ohne Boden hat, eingestellt. Um das Eindringen von äußerer Luft durch diese Verbindung in die Flasche K zu verhindern, ist der Falz K^2 mit Schwefelsäure oder Quecksilber als Sperrflüssigkeit angefüllt. Durch den Hals dieses Teiles k^1 tritt die Röhre P hindurch, welche beinahe bis auf den Boden der Flasche K reicht, unten offen ist und ungefähr 2 cm vom unteren Ende eine kleine seitliche Öffnung l trägt. Das obere Ende dieser etwa 1,50 m langen Röhre P mündet bei q^1 in den erweiterten Teil q des Barometerrohres Q, dessen unteres hakenförmig umgebogenes Ende in den am Schlitten B befestigten Quecksilberbehälter E hineintaucht. Die Röhre R, welche die Fortsetzung des Barometerrohres Q bildet, ist oberhalb seiner kugelförmigen Aufblasung r^0 knieförmig umgebogen und trägt einen Dreiwegehahn r, dessen senkrechter Stutzen s durch den Gummischlauch S mit dem Stuzen P^1 verbunden ist, während der wagerechte Stutzen t des Dreiweghahnes r durch den Gummischlauch T vermittels des Dreiwegehahnes U, die Trockenflasche W und des Rohres V mit einer gewöhnlichen Vakuumpumpe (z. B. einer Wasserstrahlpumpe) in Verbindung steht.

Um den beschriebenen Apparat in Gang zu setzen, verfährt man auf folgende Weise:

Zuerst wird durch den Schlitten B der Quecksilberbehälter E so weit gehoben, als erforderlich ist, damit das Quecksilber den Luftfang L völlig anfüllt, wobei die darin befindliche Luft durch das Röhrchen M ausgetrieben wird. Sobald die Luft aus L verdrängt ist, wird vermittels der Klemme y der Verbindungsschlauch F geschlossen und die Röhre M zugeschmolzen bzw. mittels Schliffes verschlossen. Alsdann wird der Schlitten B hinabgelassen und die Hähne U, p und r so gestellt, daß der Pumpenkörper C mit der gewöhnlichen Vakuumpumpe (Wasserstrahlpumpe) verbunden ist, und letztere in Tätigkeit gesetzt, um die Luft aus der Quecksilberpumpe C zu saugen. Hat die mechanische Pumpe den höchsten Grad ihrer Wirksamkeit erreicht, was an der Stellung des Manometers O abzulesen ist, so wird p geschlossen und der Dreiwegehahn r so gedreht, daß nur noch der Hebeapparat mit der gewöhnlichen Pumpe verbunden ist. Die Klemme y wird wieder geöffnet und

folglich das Quecksilber durch den Atmosphärendruck von *E* durch *F*, *L*, *D* und G nach *C* gedrückt. Das in *C* abwärts fallende Quecksilber zieht durch *N* Luft aus dem damit verbundenen auszupumpenden Behälter mit sich durch das Fallrohr *H* nach dem Gefäß *I*, wo dieselbe sich wieder vom Quecksilber trennt und von wo das Quecksilber nach *K* überfließt. Von *K* wird das Quecksilber durch die gewöhnliche Vakuumpumpe in der Röhre *P* gehoben; zugleich wird durch die kleine Öffnung *l* dieser Röhre Luft mit eingesaugt, so daß die Röhre *P* ein mit abwechselnden Schichten von Luft und Quecksilber angefülltes Barometerrohr bildet. Die aufsteigende Luft hebt das Quecksilber, welches somit weit über 760 mm gepreßt wird, um in den erweiterten Teil *q* zu fallen, wobei das überschüssige Quecksilber des Barometerrohres in den Behälter *E* zurückfließt, um von da wieder nach dem Pumpenkörper *C* geführt zu werden. Dabei verliert das Quecksilber in dem Luftfang *L* die aus *P* mitgerissene, in *q* und *E* etwa noch nicht abgegebene Luft, so daß es vollständig luftfrei in den Pumpenkörper *C* gelangt; nach Bedürfnis können auch mehrere Luftfänge hintereinander eingeschaltet werden.

Auf diese Weise wird das Quecksilber automatisch in fortwährendem Kreislauf durch den Apparat erhalten und funktioniert der Apparat kontinuierlich, wobei am Manometer *O* der Vakuumgrad jederzeit abgelesen werden kann. Um das Quecksilber weiter vor Feuchtigkeit zu schützen, können an den Behältern *E* und *I* ebenfalls Trockenröhren X^1 angebracht werden; auch kann die durch *X* in die Flasche *K* eintretende Luft vorher noch über Schwefelsäure und Bimsstein getrocknet werden.

Der Apparat kann natürlich in verschiedenen Größen hergestellt werden.

Bei der vorher beschriebenen Kahlbaumschen Quecksilberluftpumpe ist bisher keine Vorrichtung zum Ansammeln der ausgesaugten Gase angebracht, die in vieler Hinsicht von großem Nutzen sein kann.

Um dies zu bewerkstelligen hat Gustav Eger in Graz (Steiermark) die in Figur 117 in Vorderansicht und teilweise im Vertikalschnitt dargestellte Quecksilberluftpumpe mit Sammelgefäß für die ausgesuchten Gase[1]) konstruiert.

In einem Rahmengestelle aus Holz und Eisen sind die Bestandteile der Pumpe leicht abnehmbar mittels Vorstecker *S*

[1]) D.R.P. 87449 vom 6. Oktober 1895.

befestigt. Aus dem Quecksilbersammelgefäß K steigt das Steigrohr A, welches innerhalb der Flasche über dem Quecksiberspiegel eine kleine Luftöffnung besitzt, zu dem oben erweiterten Fallrohr B nach oben auf; dieses geht nach unten

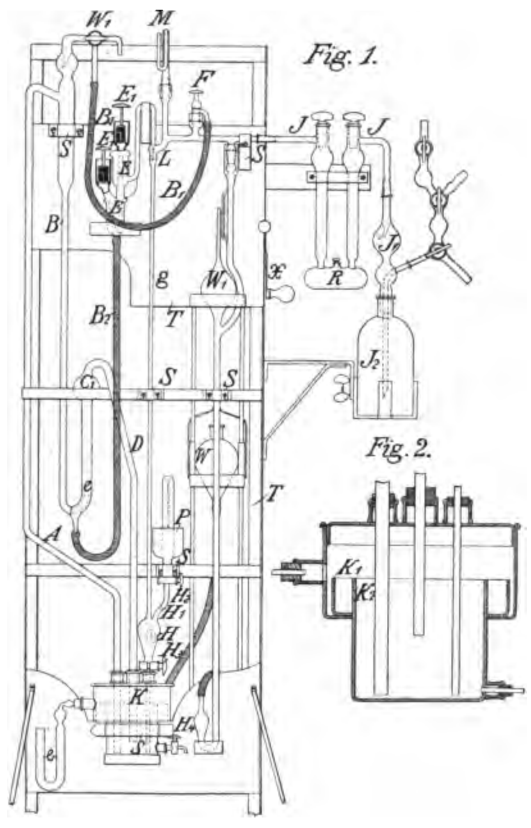


Fig. 117.

in Form eines bei C eingeschmolzenen nach aufwärts gebogenen Rohrstückes in das Überfallrohr $C\,C_1\,D$ über, das nach unten in das Sammelgefäß K zurückführt. Vom tiefsten Punkte des Überfallrohres unterhalb C steigt der Schlauch B zu den aus Röhren geblasenen Luftfängen $E\,E$ auf, die durch die

Hähne $E_1 E_1$ verschlossen sind. Diese Hähne sind seitlich angebracht und öffnen sich gegen entsprechende Öffnungen der Hahnhülsen, die unter Quecksilberverschluß stehen. Aus den Luftfängen führt ein zweimal abgebogenes Heberrohr zur Sprengelschen Pumpe L, deren Fallrohr G unten U-förmig nach aufwärts umgebogen in die Gassammelvorrichtung H mündet. Die zu evakuierenden Pumpenräume $J R J_1 J_2$ stehen einerseits durch einen unter Quecksilberdichtung befindlichen Schliff mit der Barometerprobe M und durch einen ebensolchen Schliff mit dem Mc. Leodschen Vakuummeter (Volumometer) $W W_1$ in Verbindung, dessen Quecksilberbehälter W durch die Kurbel N gehoben und gesenkt wird. Durch den Hahn F, der gleichfalls unter Quecksilberverschluß steht, und den Schlauch B_1 können die Pumpenräume bei entsprechender Stellung des Hahnes W_2 auch unmittelbar mit der bei W_2 verbundenen Wasserstrahlpumpe verbunden werden. Bei anderer Stellung des T-förmig gebohrten Hahnes W_2 steht diese jedoch mit A und B in Verbindung.

Die zu evakuierenden Pumpenräume bestehen aus dem an einem in der Höhe verstellbaren Träger T angebrachten Rezipienten J_2 mit den Schaumkugeln J, und dem Trockenapparat R, die durch Schliffe verbunden werden.

Das Fallrohr der Sprengelschen Pumpe G endigt, wie erwähnt, unmittelbar in der Gassammelvorrichtung $H H_1 H_2 H_3$, mittelbar durch deren unteres Fortsatzrohr, das durch den Hahn H_3 zu verschließen ist, in das Quecksilbersammelgefäß K. Die Gassammelvorrichtung besteht aus dem birnförmigen Glasgefäß H, von dessen höchstem Punkte das Rohr H_1 zu dem Hahn H_2 führt. Durch diesen kann die kleine Quecksilberwanne P mit dem in den Hals derselben eingesetzten Eudiometer von H abgeschlossen werden.

Das Quecksilbersammelgefäß K ist in Fig. *2* genauer dargestellt. In dessen unterem verengten Teile K_3 befindet sich das Quecksilber, das bei H_4 (Fig. *1*) abgelassen werden kann. In das Quecksilber reichen durch drei Öffnungen des Deckels das Steig-, Fall- und Überfallrohr herab. Der obere erweiterte Teil K_1 steht durch ein Trockenrohr O (Fig. *1*) mit der äußeren Luft in Verbindung. In den ringförmigen Raum zwischen K_1 und K_2 wird Schwefelsäure zur Trocknung der Luft eingefüllt.

Die Inbetriebsetzung der mit Quecksilber entsprechend gefüllten Pumpe erfolgt, während Hahn H_3 geöffnet und Hahn H_2 geschlossen, ebenso der Schlauch B_2 noch durch einen

Quetschhahn geschlossen ist, indem zunächst die Räume $J R J_1 J_2$ durch die Hähne F und W_2 unmittelbar mit der Wasserstrahlpumpe verbunden werden. Wenn diese nicht mehr weiter aussaugt, wird F geschlossen und durch W_2 die Verbindung der Wasserstrahlpumpe mit A und B hergestellt. Das in A mit Luftblasen über Barometerhöhe aufsteigende Quecksilber fällt zum Teil schon wieder evakuiert durch das Rücklaufrohr B in das Überfallrohr $C C_1$, wo allenfalls mitgerissene Luft nach C_1 aufsteigt und zunächst alles Quecksilber durch D nach K abnimmt. Nun wird der Quetschhahn an B_2 geöffnet, und das Quecksilber steigt vom tiefsten Punkt des Überfallrohres schon möglichst luftfrei nach $E E$ auf. Das Überfallrohr regelt selbsttätig den Zufluß des Quecksilbers nach $E E$ und L, und somit entfällt jegliche Regelung der zum Betriebe verwendeten Wasserstrahlpumpe. Aus den Luftfängen $E E$ kann etwa noch angesammelte Luft durch einfache Drehung der Hähne $E_1 E_1$ zeitweise vollständig entfernt werden.

Das aus den Luftfängen $E E$ zur Sprengelschen Pumpe L zufließende Quecksilber fällt in das Fallrohr C und evakuiert die Pumpenräume; durch den offenen Hahn H_3 fällt dasselbe weiter nach K, während sich die Luft zunächst in H ansammelt, wenn dieses aber einmal gefüllt ist, auch nach unten fortgerissen wird.

Sollen irgendwelche evakuierte Gase aufgefangen werden, so wird folgendermaßen vorgegangen. Zunächst wird die mit Luft gefüllte Pumpe in der beschriebenen Weise vollständig evakuiert. Zum Schlusse wird, während die Pumpe fortwirkt, Hahn H_2 geöffnet und darauf Hahn H_2 geschlossen. Nun füllt das herabfallende Quecksilber $H H_1 H_2$ und ein Stück von P, da das Eudiometer noch nicht eingesetzt ist. Hierauf wird gleichzeitig H_2 geschlossen und H_3 geöffnet und dann das mit Quecksilber geöffnete Eudiometer oder eine andere ähnliche Maß- und Sammelvorrichtung eingesetzt.

Nach diesen Vorbereitungen werden die auszusaugenden Substanzen in passender Weise mit dem Rezipienten S_2 in Verbindung oder in denselben gebracht. Die ausgesaugten Gase gelangen in R getrocknet zur Sprengelschen Pumpe und werden durch C nach H oberwärts befördert, wo sie gegen $H_1 H_2$ aufsteigen, während das Quecksilber durch den offenen Hahn H_3 abfließt. Nun kann H_2 geöffnet werden. Dann steigen die ausgesaugten Gase bläschenweise ins Eudiometer auf. Es kann aber auch, wenn H_2 geschlossen bleibt, das

ganze Gas in $H H_1$ angesammelt und erst zum Schlusse durch Öffnen von H_2 ins Eudiometer entleert werden.

Die zum Betriebe der Pumpe erforderliche Quecksilbermenge ist durch die Verwendung eines einzigen Zentralsammelgefäßes *K* für das Quecksilker sowie durch die vereinfachte, auch leichter herzustellende Konstruktion der Luftfänge *E E* auf eine sehr geringe Menge herabgesetzt.

Eine Quecksilberpumpe mit Benutzung das Sprengelschen Prinzips, jedoch vollständig aus Metall hergestellt, um das Zerbrechen der Glasteile vollständig zu vermeiden, rührt her von Frederic de Mare[1]) in Brüssel. Fig. 118 *1* der Zeichnung stellt die Pumpe in Vorderansicht, Fig. 118 *2* einen senkrechten Längsschnitt dar. Fig. 118 *3* zeigt in größerem Maßstabe den oberen Teil der Saugeröhre, Fig. 118 *4* und *5* Querschnitte durch die Saugeröhre.

Bei dieser neuen Anordnung wird das in dem Behälter *15* enthaltene Quecksilber durch eine geeignete Pumpe *1* gegen einen Dreiwegehahn *16* gedrängt, von wo es in die Steigröhren der Sauger *19* und *20* der Luftpumpe gelangt. Die Pumpen für Luft und Quecksilber sind mit ihren Teilen auf dem Quecksilberbehälter *15* und mit diesem auf einem Deckel *18* in geeigneter Weise befestigt, welch letzterer ebenfalls den die Hilfspumpe antreibenden Motor tragen kann.

Ein Kennzeichen der vorliegenden Luftpumpe ist, daß die Fall- oder Saugkanäle nicht durch mehrere Röhren, sondern nur durch ein einziges dickes Stahlrohr *21* gebildet werden, welches an seiner Außenseite zu diesem Zwecke in der Längsrichtung parallel verlaufende Nuten trägt, deren Abmessungen der gewünschten Leistungsfähigkeit der Luftpumpe angepaßt sind.

Um eine möglichst vollkommene Luftverdünnung erzielen zu können, ist an jeder Seite der Quecksilberluftpumpe ein Sauger angebracht. Der Sauger *20* mit großer Leistungsfähigkeit dient dazu, die Luftverdünnung schnell einzuleiten, während der Sauger *19* von geringerer Leistungsfähigkeit zur Bedienung des Vakuums dient.

Bei dem ersten Sauger *20* haben die Nuten *22* an der Außenseite ungefähr 3 mm Tiefe bei 3 mm Breite auf einer Länge von 800 mm und verengen sich alsdann am anderen Ende in Tiefe und Breite auf 2 mm. Der zweite Sauger *19* besitzt Nuten von 2 mm in Tiefe und Breite, welche sich

[1]) D.R.P. 121857 vom 3. Juni 1900.

am unteren Ende auf 1 mm verengen. Die Nuten der Stahlrohre *21* werden an einer dünneren Röhre *23* umfaßt, welche auf dem Rohre *21* gleiten kann und mit diesem auf die erwähnte Weise seitliche, um eine senkrechte Achse radial an-

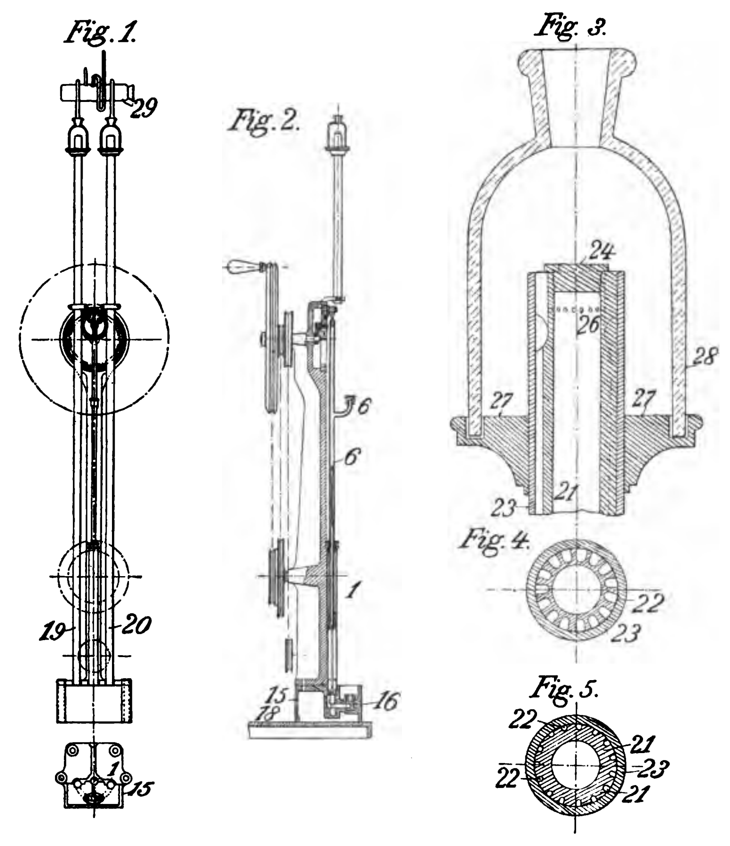


Fig. 118.

geordnete Saugkanäle bildet. Die Röhren *21* sind am oberen Ende durch eine Verschlußschraube *24* verschlossen und besitzen unter dieser Öffnungen *26* in einem Teil der Röhre, dessen Wandung etwa auf die Hälfte seiner Dicke verringert ist.

Das durch die Quecksilberpumpe *1* bewegte Quecksilber steigt durch das Rohr *21* aufwärts und gelangt von dort durch die Öffnungen *26* wieder nach abwärts in die Saugkanäle *22*, in welchen es gleichermaßen eine Anzahl von Kolben bildet, welche die Luft oder das Gas des zu entleerenden Behälters ansaugen und ausstoßen. Zu diesem Zweck ist die äußere Röhre *23* mit einer Platte *27* ausgestattet, in deren kreisförmiger Nut der Rand der Gasglocke *28* einpaßt, welche mit den luftleer zu machenden Gefäßen (Glühlampen) durch Vermittlung von Glasröhren in Verbindung gesetzt wird. Damit die beiden Sauger abwechselnd arbeiten können, sind sie selbst bzw. ihre beiden Kammern durch einen Hahn vermittels eines Dreiwegehahnes *16* mit der gemeinsamen Quecksilberkammer verbunden.

Um nun die Luftpumpe in Tätigkeit zu setzen, füllt man den Behälter *15* mit reinem und trockenem Quecksilber. Hierauf führt man den Pumpenkolben in seine unterste Stellung und gießt durch Vermittlung des Füllstutzens *6* ebenfalls Quecksilber in den Zylinder der Pumpe ein. Wenn man nun den Hahn *16* auf beide Sauger *19* und *20* einstellt, füllen diese sich ebenso wie die Pumpe bis zum Niveau des Einfallstutzens *6*. Hierauf wird dieser geschlossen, und man verbindet die Sauger mit dem luftleer zu machenden Gefäß. Nachdem man nun den Hahn auf den Sauger für große Leistungsfähigkeit eingestellt hat, setzt man die Pumpe in Tätigkeit.

Das Quecksilber steigt durch das Rohr *21* hoch und alsdann durch die Kanäle *22* wieder abwärts zum Quecksilberbehälter, von wo es alsdann den Kreislauf von neuem beginnt. Wenn nach einiger Zeit die Luftverdünnung infolge der Abmessungen der Saugkanäle nicht weiterschreiten will, stellt man den Hahn auf den Sauger für geringere Leistungsfähigkeit ein, welcher alsdann die schnell begonnene Luftentleerung vollendet.

Obgleich das Quecksilber sich unter gewöhnlichen Umständen mit dem Stahl nicht verbindet, hat dieses letztere Metall doch die Neigung zu rosten, weshalb es vorteilhafterweise überall da sorgfältig mit Nickel überzogen wird, wo es mit Quecksilber in Berührung kommen kann.

Im praktischen Betrieb der Mareschen Quecksilberluftpumpe hat sich gezeigt, daß die Blechhülse die Wandung der mit Nuten versehenen Steigröhre nicht genügend dicht

umschließt oder an denjenigen Stellen nicht genügend dicht ist, wo sie gegen die Flanschen der Steigröhre anschließt.

Um diesem Übelstande abzuhelfen, hat, wie in Fig. 119 dargestellt, Frédéric de Mare in Brüssel eine neue Ausführungsform von Fall- oder Saugröhren konstruiert [1]).

Unter Beibehaltung der an der Außenwandung mit Längsnuten versehenen metallenen Steigröhre des Hauptpatentes wird nach vorliegender Erfindung die Herstellung der Fall- oder Saugkanäle dadurch vereinfacht, daß man die Steigröhre nicht mehr mit einem einzigen Blechmantel umgibt, sondern spiralförmig mit einem geweichten Streifen Pergamentpapier oder Stoff *1* umwickelt. Nachdem dieser Streifen getrocknet ist, wird er mit Kopal oder einem anderen passenden Lack überstrichen. Nachdem auch dieser Anstrich getrocknet ist, umwickelt man ein zweites, ebenfalls geweichtes Band *2* in gleicher Weise spiralförmig, jedoch im umgekehrten Sinne um das Rohr, bis dasselbe die genügende Wandstärke erlangt hat, worauf man beide Schichten in einer geeigneten Trockenkammer fest zusammenbacken läßt. Das Rohr wird dabei vollkommen dicht an allen Punkten, und auch die einzelnen Fall- oder Saugkanäle sind voneinander vollkommen dicht getrennt.



Fig. 119.

Wenngleich diese Pumpe sich auszeichnet durch Einfachheit der Bauart unter Vermeidung von Fugen und toten Räumen, und daß ferner das zerbrechliche Glas durch festes Metall ersetzt ist, so hat sie doch den schon früher gerügten Übelstand, daß man die fortschreitende Entluftung nicht sofort bemerken kann, sondern erst durch ein zwischen Pumpe und Lampe einzuschaltendes, besonderes Vakuummaßinstrument festgestellt werden muß.

Einen sinnreichen und dabei sehr einfachen Regulierapparat für Sprengelpumpen hat Dr. Joseph Rosenthal [2]) in München konstruiert, der den Zweck erfüllt, den Zu- und Abfluß des Quecksilbers nach der Kapillare *a* (Fig. 120) dauernd

[1]) D.R.P. 124576 vom 28. November 1900.
[2]) D.R.P. 154913 vom 26. Mai 1903.

gleichmäßig zu gestalten. Diese Einrichtung kann sowohl im Ablaufgefäß *B* als auch im Sammelbehälter *A* vorgesehen sein.

Nach Fig. 120 *1* ist z. B. im Ablaufgefäß *B* ein Schwimmer *g* angebracht, welcher durch unmittelbares, den geringsten Schwankungen Rechnung tragendes Einwirken auf den Ausflußquerschnitt die Menge des durch die Pumpe umlaufenden Quecksilbers in vollkommenster Weise regelt.

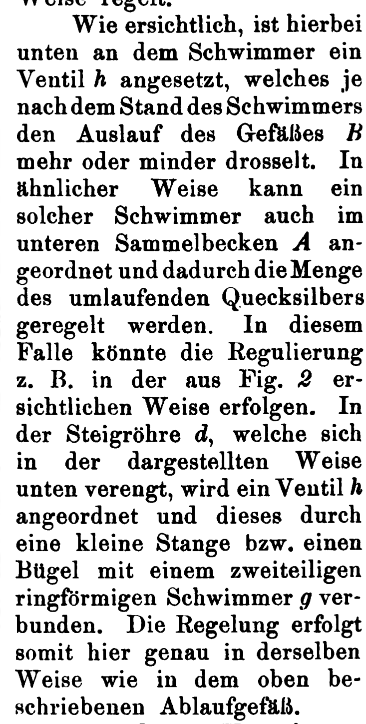


Fig. 120.

Wie ersichtlich, ist hierbei unten an dem Schwimmer ein Ventil *h* angesetzt, welches je nach dem Stand des Schwimmers den Auslauf des Gefäßes *B* mehr oder minder drosselt. In ähnlicher Weise kann ein solcher Schwimmer auch im unteren Sammelbecken *A* angeordnet und dadurch die Menge des umlaufenden Quecksilbers geregelt werden. In diesem Falle könnte die Regulierung z. B. in der aus Fig. *2* ersichtlichen Weise erfolgen. In der Steigröhre *d*, welche sich in der dargestellten Weise unten verengt, wird ein Ventil *h* angeordnet und dieses durch eine kleine Stange bzw. einen Bügel mit einem zweiteiligen ringförmigen Schwimmer *g* verbunden. Die Regelung erfolgt somit hier genau in derselben Weise wie in dem oben beschriebenen Ablaufgefäß.

Bei dieser Vorrichtung wirken, wie schon erwähnt, die geringsten Schwankungen im Ablauf- oder Sammelgefäß sofort auf den Durchflußquerschnitt des Quecksilbers, so daß eine außerordentlich empfindliche konstante Regelung erreicht wird. Dies ist besonders dann von größter Wichtigkeit, wenn Schwankungen in der Vorvakuumpumpe, welche bei *e* in Form

einer Wasserstrahlpumpe angesetzt ist, auftreten. Beim Nachlassen des Vakuums senkt sich in diesem Falle gemäß Fig. 120 *1* der Schwimmer *g* etwas und verändert dadurch in gleichem Maße die Quecksilberdurchflußöffnung. Aber selbst bei vollständig gleichbleibender Größe des angewandten Vorvakuums würde, je nachdem das Vakuum in der Sprengelpumpe größer oder geringer ist, der Abfluß der Quecksilbertropfen im Rohre *a* nicht ständig gleichbleiben. Auch die hier mit Vorteil eintretende Regelung wird durch die Schwimmervorrichtung selbsttätig und in stets gleichbleibendem Maße vorgenommen.

Zum Schluß seien hier noch zwei verschiedene Quecksilberluftpumpen beschrieben, die nicht das Prinzip der Sprengelpumpen verfolgen, vielmehr eher an Töpler-Pumpen oder an die automatisch wirkende Rankin-Kennedy-Pumpe[1]) erinnern. Die Kolbenquecksilberluftpumpe mit Vorpumpe in Fig. 121 rührt her von Reinhold Burger[2]) in Berlin und wirkt gleichzeitig mit selbsttätiger Steuerung der zur Vorpumpe und zur Atmosphäre führenden Hähne durch ein bewegliches Gefäß, das abwechselnd mit Quecksilber gefüllt und geleert wird. Von den bekannten Vorrichtungen dieser Art ist die Einrichtung dadurch unterschieden, daß zwischen diesem Gefäß und den Teilen, durch welche das Quecksilber fließt, welches zum Betriebe der eigentlichen Quecksilberluftpumpe dient, keine Verbindung ist, so daß dieses Quecksilber und das zum Betriebe des Steuergefäßes dienende in keine Berührung miteinander kommen. Hierdurch wird folgender Übelstand vermieden: Durch bewegliche Gummiverbindungen, wie solche für bewegliche Gefäße notwendig sind, tritt sehr leicht etwas Luft ein. Diese Luftbläschen würden sich, wenn eine Berührung zwischen den beiden obengenannten Quecksilbermengen vorhanden wäre, auch in das Quecksilber der eigentlichen Quecksilberluftpumpe verbreiten und mit diesem in die Pumpe eintreten. Diese Gefahr fällt weg, wenn diese beiden Quecksilbermengen ganz voneinander getrennt sind. Ferner kann man durch diese vollständige Trennung mit einem Steuerungsgefäß gleichzeitig eine Mehrzahl von Pumpen betreiben. Wenn weiter die Verbindung zu der Vorpumpe mit einem Hahn versehen wird, so hat man es

[1]) E. Krüger, Herstellung der elektrischen Glühlampe, 1894, Seite 55.
[2]) D.R.P. 157437 vom 9. Februar 1902.

in der Hand, durch Schließen dieses Hahnes, nachdem einmal die hinreichende Luftleere in dem Steuergefäß hergestellt ist, diese Steuervorrichtung ganz unabhängig von dem Luftzutritt in die eigentliche Quecksilberpumpe bis zum Abstellen derselben zu machen, so daß jederzeit ohne neues Einstellen die besondere Steuervorrichtung funktioniert und immer die gleiche Zeit zum Funktionieren braucht.

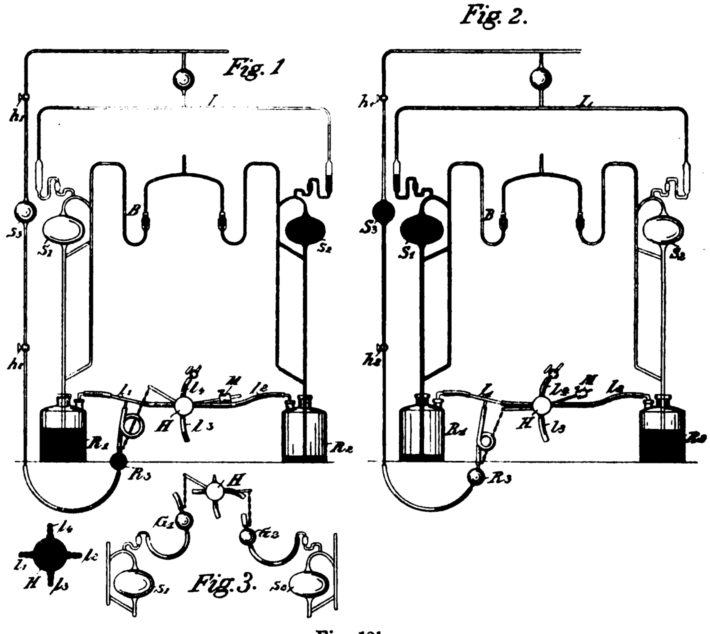


Fig. 121.

Eine Ausführungsform dieses Apparates ist auf der Fig. 121 in Verbindung mit einer doppeltwirkenden Kolbenquecksilberluftpumpe dargestellt.

Zwei Behälter S_1 und S_2 (Fig. 121 *1*) sind in bekannter Weise mit einer Vorpumpe durch die Leitung L sowie mit dem luftleer zu machenden Raume durch B verbunden, ebenso mit zwei Sammelgefäßen R_1 und R_2. Von den letzteren gehen Leitungen l_1 und l_2 zu einem Hahn H, von welchem eine weitere Leitung l_3 zu der Vorpumpe und eine vierte l_4 zur äußeren Luft führt.

Die Bohrungen des Hahnes (Fig. 121 *3*) sind nun derart, daß l_1 mit l_3 in Verbindung steht, wenn l_2 und l_4 miteinander verbunden sind. Umschlagen des Hahnes setzt dann l_1 mit l_4 und weiter l_2 mit l_3 in Verbindung.

Bei der gezeichneten Stellung (Fig. 121 *1*) ist das erstere der Fall. Somit wird durch den äußeren Luftdruck Quecksilber, welches sich in R_2 befindet, nach S_2 gedrückt, während das in S_1 befindliche Quecksilber nach R_1 durch seine eigene Schwere fällt. Es saugt daher Behälter S_1; aus S_2 wird die vorher angesaugte Luft zu der Vorpumpe hinabgedrückt. Nach Umlegen des Hahnes vertauschen die Behälter S_1 und S_2 ihre Rolle; das Ansaugen der Luft aus dem luftleer zu machenden Behälter findet also stetig statt.

S_3 bezeichnet einen kleinen Behälter, aus welchem der tiefer liegende R_3 biegsam verbunden ist. Außerdem führt von R_3 eine biegsame Verbindung zu einer Abzweigung von l_1. Behälter R_3 hängt an einem mit dem Hahn H befestigten Arme; ein Gegengewicht M wirkt vermöge seiner Schwere der Schwere von R_3 entgegen. Von S_3 führt eine mit Hahn h_1 versehene Leitung zur Vorpumpe; ferner ist noch zwischen S_3 und R_3 ein Regulierhahn h_2 eingeschaltet. In R_3 wird Quecksilber eingefüllt. Bei Öffnung des Hahnes h_1 und Stellung des Hahnes H in die der gezeichneten Stellung entgegengesetzte Stellung wird durch den äußeren Luftdruck Quecksilber aus R_3 nach dem luftleer gemachten Behälter S_3 gedrückt. Ist R_3 von Quecksilber entleert, so zieht das Gewicht M den Hahn herum in die gezeichnete Stellung. Nun wird die Luft aus R_3 ausgesaugt, so daß das Quecksilber aus S_3 nach R_3 zurückfällt. Letzterer Behälter wird dabei schließlich so schwer, daß er den Hahn H wieder umlegt, worauf sich das Spiel wiederholt. Durch Einstellen des Hahnes kann die Geschwindigkeit des Quecksilberüberganges so abgeglichen werden, daß Hahn H gerade dann umgelegt wird, wenn S_1 bezüglich S_2 bis zur richtigen Höhe gefüllt sind.

Die von Paul Bergsöe und Cecil Vilhelm Schon in Kopenhagen [1]) erfundene Quecksilberluftpumpe mit selbsttätiger elektromagnetischer Steuerung beruht darauf, daß die selbsttätige Steuerung der Pumpe für beliebig lange Wartezeiten zwischen den einzelnen Hüben regelbar ist, d. h. dem erreichten Grad der Luftverdünnung entsprechend zeitlich ver-

---

[1]) D.R.P. 159099 vom 17. Oktober 1903.

längert werden kann, um ein Nachströmen der letzten Luftteilchen, die vermöge der Adhäsion an den Glaswandungen zurückgehalten werden, zu ermöglichen, wodurch die Verdünnung der Luft wesentlich weiter getrieben werden kann, als sie mit den bisherigen Einrichtungen möglich war.

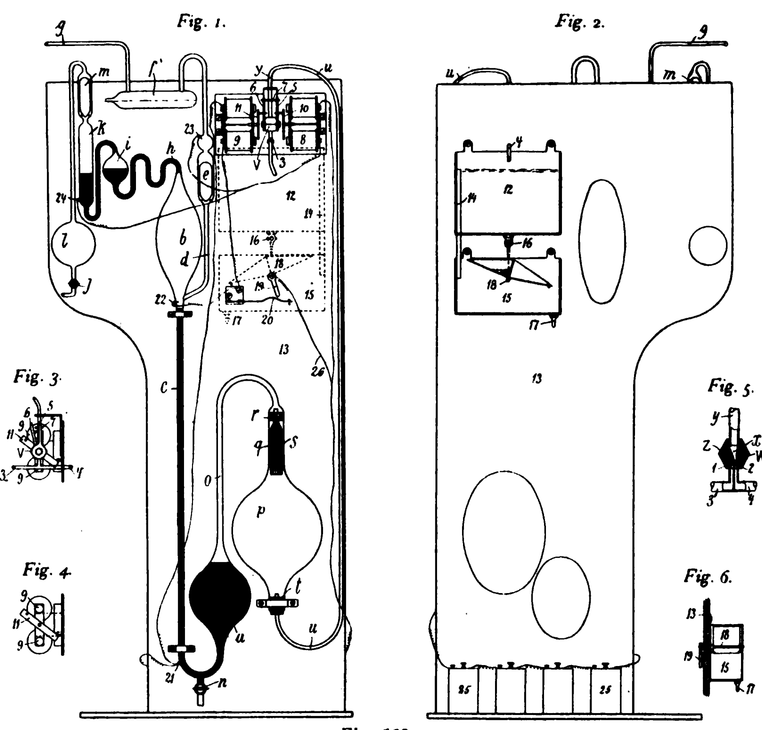


Fig. 122.

In der Fig. 122 ist die Pumpe dargestellt, und zwar zeigt Fig. 122 *1* die Pumpe in Vorderansicht, Fig. 122 *2* in Rückansicht, und in Fig. 122 *3—6* sind Einzelteile der Pumpe veranschaulicht.

Der Quecksilberbehälter *a* ist mit dem Behälter *b* durch ein Rohr *c* fest verbunden, ohne Kautschukverbindung. Das sogenannte T o e p l e r sche Abzweigrohr *d* mit Ventil *e*, Trockenapparat *f* und das zum Rezipienten führende Rohr *g* sind

in der üblichen Weise angeordnet, ebenso das Kapillarrohr *h*, Vorvakuum *i*, Rohr *k* und Vakuumreservoir *l*; zwischen dem Rohr *k* und dem Reservoir *l* ist zweckmäßig ein Schwimmerventil *m* vorgesehen. Das Reservoir *l*, Rohr *k* und Ventil *m* können übrigens fortgelassen und die Pumpe in üblicher Weise zum Auffangen der Luftblasen mit langem Steigrohr versehen werden, ohne dadurch das Wesen der Pumpe zu ändern. An dem tiefsten Punkte des Rohres *c* ist ein Ablaßhahn *n* vorgesehen.

Der Quecksilberbehälter *a* ist durch das Rohr *o* mit einem Behälter *p* luftdicht verbunden. Zweckmäßig werden sämtliche bisher beschriebenen Teile einfach miteinander zusammengeblasen und verschmolzen. Der sich am Behälter *p* unmittelbar anschließende Teil *q* des Rohres *o* wird ziemlich weit gestaltet und mit einem durchbohrten Stopfen *r* versehen, worin ein Chlorkalzium enthaltendes Rohr *s*, das durch den Hals *t* des Behälters eingeführt werden kann, befestigt ist. Im Hals *t* ist ein Bleirohr *u* mittels eines durchbohrten Stopfens befestigt, welches an dem Stutzen *y* eines Hahnes *v* anschließt, der aus dem Hahnkörper *z* und dem drehbaren Küken *w* besteht, und dessen Einrichtung aus den Figuren 122 *1*, *3* und *5* ersichtlich ist. Das Küken *w* des Hahnes *v* besitzt eine Durchbohrung *x* (Fig. 122 *5*), die, an ihrer oberen Öffnung erweitert, in steter Verbindung mit dem an dem Hahnkörper *z* sitzenden Stutzen *y* steht und an ihrer unteren Öffnung bedeutend verjüngt, bei Drehung des Kükens *w* abwechselnd mit den Bohrungen *1* oder *2* des Körpers *z* in Verbindung kommt. Die Scheidewand zwischen den Bohrungen *1* und *2* des Körpers *z* wie auch die untere Öffnung der Bohrung *x* des Kükens *w* werden möglichst dünn gemacht, so daß eine ganz geringe Drehung des Kükens *w* genügt, eine Verbindung des Rohres *u* bzw. der Hülse *y* entweder mit der Bohrung *1* und *2* herzustellen und damit den Hahn umzusteuern.

Die Drehung des Hahnkükens *w* wird durch Elektromagnete bewirkt und kann in verschiedener Weise vorgenommen werden. So kann z. B. auf dem Küken ein magnetisierter Anker befestigt sein, der von einem oder zwei permanenten oder Elektromagneten durch Änderung der Polarität des Ankers angezogen und abgestoßen wird, womit die Drehung des Kükens verknüpft ist. Als einfach und sicher wirkend hat sich jedoch folgende Einrichtung erwiesen: Auf dem Hahnküken *w* sind zwei Arme *5* und *6* befestigt (Fig. 122 *1* und 3), deren Bewegung durch

einen Anschlagstift *7* begrenzt wird. Dem Küken *w* gegenüber sind zwei Elektromagnete *8* und *9* angeordnet, deren schwingbare Anker *10* und *11* mit Anschlagstiften versehen sind. Sobald einer der Elektromagneten *8* oder *9* erregt wird, dreht sich der zugehörige Anker *10* bzw. *11* und schlägt mit seinem Anschlagstift gegen den zugehörigen Arm *5* bzw. *6* des Kükens *w*, womit das letztere in der Richtung des erregten Magneten gedreht wird. Die Anker *10* und *11* besitzen an ihrem oberen Arme ein wenig Übergewicht und fallen durch dasselbe in ihre ursprünglich schräge Ruhelage sofort wieder zurück, sobald nach beendeter Drehung des Kükens *w* die Spulen des zugehörigen Magneten stromlos geworden sind. An die Bohrung *1* des Hahnkörpers *z* ist ein Rohr *3* angeschlossen, welches mit einer Druckwasserleitung verbunden ist, und an die Bohrung *2* schließt ein Rohr *4* an, das nach einem Behälter *12* führt, der an der Rückseite des Brettes *13*, auf welchem die ganze Einrichtung befestigt ist, angehängt ist.

Der Behälter *12* ist mit einem Überlaufrohr *14* versehen, das nach einem darunter angebrachten Kasten *15* führt. Im Boden des Behälters *12* ist ein Einstellhahn *16* angebracht, der genau über der Welle eines zweiteiligen, im Kasten *15* schwingbar angeordneten Kipptroges *18* ausmündet (Fig. 122 *2* und *6*). Der Kipptrog *18*, dessen Bewegungen nach unten durch kleine Anschlagstifte begrenzt werden, entleert sich in den Kasten *15*, der sich durch das in seinem Boden angebrachte Ablaufrohr *17* entleert. Die Welle *18* des Kipptroges ist durch eine Leitung *26* mit dem einem Pole der am Boden der ganzen Einrichtung aufgestellten Batterie *25* (Fig. 122 *2*) verbunden und besitzt einen Kontaktarm *19* (Fig. 122 *1* und *6*), der mit Hilfe einer Kontaktfeder *20* bei der Bewegung des Kipptroges abwechselnd den Stromkreis nach der Batterie *25* schließt und unterbricht. Die Enden der Leitungsdrähte *21*, *22*, *23* und *24* sind an den zugehörigen Stellen im Glase so eingeschmolzen, daß sie mit der jeweilig in den Röhren befindlichen Quecksilbermasse in leitende Verbindung kommen. Die Verbindung der einzelnen Drähte untereinander und mit den Elektromagneten *8* und *9*, der Kontaktvorrichtung *19*, *20* und der Batterie *25* ist aus der Figur leicht ersichtlich.

Die Pumpe wird in folgender Weise benutzt: Durch den Hahn *n* wird in geeigneter Weise das nötige Quecksilber in den Behälter *a* gebracht, der Hahn *n* hierauf wieder geschlossen und nunmehr das Reservoir *l*, der Behälter *b* und

der Rezipient mittels einer Wasserstrahlpumpe oder einer sonst geeigneten Vorrichtung durch den Hahn *j* möglichst stark evakuiert.

Der Hahn *j* kann während des Betriebes der Pumpe dauernd oder nur zeitweilig geöffnet bleiben. Das Hahnküken *w* wird so gestellt, daß deren Bohrung *x* die Verbindung mit dem Rohr *3* herstellt, und hierauf die Druckwasserleitung geöffnet. Das Druckwasser strömt durch das Rohr *u* und preßt die im Behälter *p* befindliche Luft zusammen, die ihrerseits durch das Chlorkalziumrohr *s* in getrocknetem Zustande teilweise nach dem Behälter *a* überströmt und aus diesem Quecksilber durch das Rohr *c* hochtreibt. Nachdem der Behälter *b* mit Quecksilber gefüllt und die darin befindliche Luft durch das Kapillarrohr *h* und die Zwischenglieder *i*, *k*, *m* nach dem Behälter *l* übergetrieben ist, wird das Vakuum *i* nach und nach mit Quecksilber gefüllt, welches dann weiter nach dem Behälter *k* dringt und mit dem Draht *24* in Berührung kommt. Hierdurch wird ein Stromkreis geschlossen, der von dem einen Pol der Batterie *25* aus durch den Draht *21* und das Quecksilber nach dem Draht *24*, von diesem durch die Spulen des Elektromagneten *8* und dann nach der Batterie zurückgeht, wie aus der Figur ersichtlich ist. Der Elektromagnet *8* zieht seinen Anker *10* an, welcher mit seinem Anschlagstift gegen den Arm *5* stößt und damit das Küken *w* so weit dreht, daß dessen Bohrung *x* die Verbindung des Rohres *u* mit dem Ablaufrohr *4* herstellt. Das Wasser strömt nun aus dem Behälter *p* durch die Rohre *u* und *4* nach dem Behälter *12*, und das Quecksilber sinkt bis in die Gleichgewichtslage zurück, wobei doch im Rohr *k* und im Vakuum *i* genügend Quecksilber für die Absperrung zurückbleibt. Durch den Hahn *16* am Boden des Behälters *12* läuft jetzt ein Teil des Wassers in die eine Abteilung des Kipptroges *18*, bis derselbe nach einiger Zeit umkippt und sein Wasser in den Kasten *15* entleert. Durch diese Kippbewegung des Troges wird die Welle *18* gedreht und damit der Kontakt *19—20* einen Augenblick geschlossen und wieder unterbrochen, damit der Stromkreis von der Batterie *25* durch den Kontakt *19—20* nach den Spulen des Elektromagneten *9* und nach der Batterie zurück für dieselbe Zeit geschlossen und wieder unterbrochen wird. Dadurch wird das Küken *w* wieder so gedreht, daß die Bohrung *x* die Verbindung zwischen dem Rohr *3* der Druckwasserleitung nach dem Rohr *u* herstellt. Das Druckwasser

drückt nun wieder auf die im Behälter *p* befindliche Luft. Das Quecksilber steigt wieder im Rohre *c* hoch, drückt die inzwischen im Behälter *b* angesammelte, durch die Toeplersche Röhre *d* angesaugte Luft nach dem Vakuum *i* und, nachdem auch dieses mit Quecksilber angefüllt ist, nach dem Rohr *k* und dem Reservoir *l*. Solange das Luftbläschen sich vom Behälter *b* nach dem Rohr *k* unterwegs befindet, ist die Quecksilbersäule an irgendeiner Stelle durch eben diese Luftbläschen unterbrochen; sobald aber das Luftbläschen durch das im Rohr *k* befindliche Quecksilber aufgestiegen ist, wird die leitende Verbindung zwischen den Drähten *21* und *24* durch das Quecksilber hergestellt, und das Wasser läuft wieder vom Behälter *p* durch das Rohr *u*, den Umsteuerungshahn *w* und das Rohr *4* nach dem Behälter *12*. Ein Teil des im Behälter *12* sich ansammelnden Wassers wird, wie beschrieben, zur Betätigung des Kipptroges *18* benutzt, das übrige läuft durch das Überlaufrohr *14* nach dem Kasten *15* und durch das Ablaufrohr *17* ab. Man kann den Regulierungshahn *16* leicht so einstellen, daß zwischen zwei Kippungen des Troges *18* und Schließungen und Unterbrechungen des Kontaktes *19*—*20* so viel Zeit verstreicht, wie für das Auf- und Absteigen des Quecksilbers in den Räumen *a*, *c* und *b* nötig ist, und noch eine beliebige Wartezeit dazu, damit die Luft vom Rezipienten nach dem Behälter *b* übertreten kann, was bei sehr niedrigen Drucken ziemlich lange, etwa einige Minuten, dauern kann.

Sollte einmal, z. B. wegen Abnehmens des Wasserdruckes, das Aufsteigen des Quecksilbers verzögert werden, so kann es vorkommen, daß der Kipptrog *18* kippt und der Umsteuerungshahn *w* auf Druckwasser eingestellt wird, bevor das Quecksilber aus dem Behälter *b* so weit gesunken ist, daß die Mündung des Toeplerschen Steigrohres *d* freigelegt ist; das Quecksilber würde in diesem Falle unnütz steigen, und der Hub wäre verloren. Um dies zu vermeiden, ist das Ende des Leitungsdrahtes *22* unmittelbar unter der Einmündung des Toeplerschen Rohres *d* in die Wandung des Behälters *b* eingeschmolzen und führt von da zu der Kontaktfeder *20*. Kippt nun der Trog *18*, während das im Rohr *c* befindliche Quecksilber noch in Kontakt mit dem Pol des Leitungsdrahtes *22* ist, so wird der Stromkreis zur Batterie *25* außer durch den Magneten *9* auch durch die Leitung *22*, das im Rohr *c* befindliche Quecksilber und die Leitung *21* geschlossen sein. Der dem Elektromagneten *9* zufließende Teil des

Stromes kann durch passende Einschaltung von Widerständen in diesem Falle so klein gemacht werden, daß der Anker *11* des Magneten *9* nicht genügend angezogen wird, um den Widerstand des Kükenarmes *6* zu überwinden und das Hahnküken *w* umzusteuern, so daß die Kippung des Troges *18* ohne Einfluß auf den Umsteuerungshahn *v* bleibt. Ist dagegen das Quecksilber im Behälter *b* so weit zurückgetreten, daß dasselbe zur Zeit der Kippung des Troges *18* mit dem Pol der Leitung *22* nicht mehr in Kontakt ist, so wird bei Herstellung des Kontaktes zwischen Arm *19* und Feder *20* den Spulen des Magneten *9* der volle Strom zugeschickt und damit der Hahn *v*, *w* umgesteuert. Es würde demnach nur ein Hub übersprungen werden, falls das Quecksilber zur Zeit der Kontaktbetätigung *19*—*20* mittels des Kipptroges *18* noch nicht genügend gesunken sein sollte, und andererseits kann auch die Umsteuerung des Hahnes *v* erst dann erfolgen, wenn der Trog *18* zum erstenmal nach dem vollständigen Zurücktreten des Quecksilbers aus dem Behälter *b* kippt.

Falls das Ventil *e* in der Toeplerschen Röhre *d* nicht dicht halten sollte, könnte Quecksilber bis in den Trockenapparat *f* gelangen. Um diese Möglichkeit zu verhindern, ist kurz über dem Ventil *e* der Pol des Drahtes *23* eingeschmolzen. Dieser Draht *23* ist mit dem Leitungsdraht *24* verbunden; falls nun Quecksilber durch das Ventil *e* dringen und mit dem Drahtende *23* in Kontakt kommen sollte, wird sofort der Elektromagnet *8* erregt. Damit wird das Druckwasserrohr *3* gesperrt und das im Behälter *p* vorhandene Wasser nach der Ableitung *4* ausgelassen, womit auch das Quecksilber zurücksinkt, um erst dann wieder emporzusteigen, wenn der Kipptrog *18* zum erstenmal nach der Freilegung des Leitungskontaktes *22* kippt.

Es könnte nun noch die Gefahr bestehen, daß die Umsteuerung, welche das Wasser aus dem Behälter *p* zum Ablaufen bringt, versagt. Dann würde das Wasser nach dem Behälter *l* getrieben wedren, und die im Behälter *p* vorhandene Luft sowie das Druckwasser würden bis in die Quecksilberpumpe eindringen. Um auch diese Möglichkeit auszuschließen, ist im oberen Teile des Rohres *k* das Ventil *m* eingeschaltet, welches ein Übertreten des Quecksilbers nach dem Behälter *l* verhindert.

Die Schließung und Unterbrechung des Stromkreises für den Elektromagneten *9* kann an Stelle des Kipptroges *18*

auch durch ein Uhrwerk oder eine andere Vorrichtung bewirkt werden, welche die Kontakteinrichtung *19—20* in bestimmten Zeiträumen in Tätigkeit zu setzen geeignet ist.

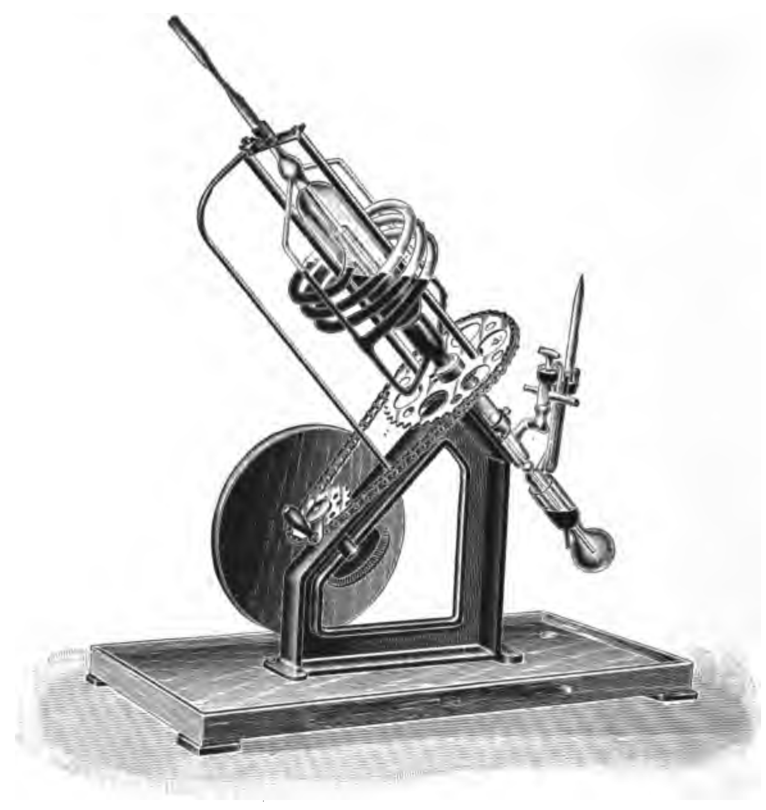


Fig. 123.

An Stelle des Druckwassers kann auch Druckluft zum Hochtreiben des Quecksilbers Anwendung finden. In diesem Falle kann der Behälter *p* fortfallen; der Kipptrog *18* wird von einer Wasserleitung oder einem Wasserbehälter mittels eines einstellbaren Hahnes gespeist oder an Stelle des Kipptroges ein Uhrwerk oder eine andere geeignete Einrichtung zur Betätigung der Kontaktvorrichtung *19—20* angewendet.

Eine der neuesten Quecksilberluftpumpen ist die rotierende Quecksilber-Hochvakuumpumpe nach Kaufmann. (D.R.G.M.) Dieselbe ist beschrieben in der Zeitschrift für Instrumentenkunde 25, 1905, S. 129; Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 10. Aufl. 1906, Band 1, S. 501.

Fig. 123 stellt die Quecksilberluftpumpe allein, Fig. 124 in Verbindung mit einem Vakuummeter nach McLeod dar, und



Fig. 124.

besteht aus einem um eine geneigte Achse rotierenden System von Glasröhren. Eine rahmenförmig gebogene, geschlossene, enge Röhre steht in ihrem oberen Teil mit dem Rezipienten in Verbindung; diese Verbindung wird vermittelt durch eine in der Achse des Röhrensystems liegende, nach unten geführte Röhre, welche durch ein Schliffstück mit einer feststehenden Saugröhre verbunden ist. Der untere Teil der rahmenförmigen Röhre kommuniziert mit einer in der Mitte des Systems angeordneten Kammer für das Vorvakuum; etwa bis zur Hälfte

ist das Röhrensystem mit Quecksilber gefüllt. Außerdem bestehen zwischen dem mittleren Teil der rahmenförmigen Röhre und der Kammer des Vorvakuums zwei aus ziemlich weiten Spiralröhren bestehende Rohrverbindungen, die in der Richtung nach der Vorkammer ansteigen und durch Quecksilber abgedichtet werden. Bei der Rotation des Systems gelangt das untere Ende der Spiralen abwechselnd unter und über das Quecksilber. Liegt es unter dem Niveau des Quecksilbers, so strömt Quecksilber in die Spirale ein, trennt die vorher in den unteren Teil der Röhre eingedrungene Rezipientenluft von der übrigen, das Quecksilber steigt während der Drehung in der Spirale, die ähnlich der archimedischen Wasserschraube wirkt, und es drängt den abgesperrten Teil der Rezipientenluft in die Kammer des Vorvakuums hinein. Bald kommt das untere Ende der Spiralröhre wieder über das Quecksilberniveau. Es tritt kein weiteres Quecksilber in die Spirale ein; aber in dem Maße, wie das Quecksilber ansteigt, wird weitere Rezipientenluft hinter dem vorher in die Spirale gelangten Quecksilber in die Spirale gesogen, und bei der Weiterbewegung wird auch diese wieder von Quecksilber abgesperrt und in das Vorvakuum befördert. Durch die Anordnung von zwei Spiralen wiederholt sich der Vorgang derartig, daß nach jeder halben Umdrehung eine Luftabtrennung stattfindet. Das gleichfalls in das Vorvakuum gelangende Quecksilber fließt zu dem übrigen in dem kommunizierenden Röhrensystem befindlichen und kommt wieder zur Verwendung. Bei dieser Einrichtung werden demnach die ausgepumpten Luftmengen nicht erst komprimiert, sie werden vielmehr beständig mit gleicher Geschwindigkeit vorwärtsbewegt; plötzliche Druckveränderungen und Stöße mit irgendwelchen schädlichen Folgen sind daher gänzlich ausgeschlossen.

Die Verbindungen der Quecksilberluftpumpe mit einer zum Vorpumpen zu verwendenden Wasserluftpumpe und dem Rezipienten sind fest angeordnet und mit den beweglichen Teilen durch fein eingeschliffene, mit Quecksilber abgedichtete Verbindungsstücke bewerkstelligt. Zum Trocknen der Luft ist ein Gefäß für Phosphorsäureanhydrid vorgesehen. Die Pumpe läßt sich mit Leichtigkeit von Hand betreiben, sie ist aber auch mit einer Schnurscheibe ausgerüstet, um sie durch einen Motor antreiben zu können. Die günstigste Tourenzahl beträgt für den Anfang etwa 20—25 in der Minute; wenn der Druck unter etwa $^1/_2$ mm gesunken ist, kann sie auf 10—15 ermäßigt werden.

Mit einem Vakuummeter nach McLeod von 500 ccm Rauminhalt wurden die folgenden Verdünnungen erzielt, nachdem mittels einer Wasserluftpumpe bis auf etwa 10 mm vorgepumpt war:

nach	10	Minuten	ein	Vakuum	von	0,044 mm	Quecksilbersäule
"	15	"	"	"	"	0,01 mm	"
"	20	"	"	"	"	0,002 mm	"
"	25	"	"	"	"	0,001 mm	"

Die Pumpe lief mit ungefähr 13 Umdrehungen in der Minute und war durch einen Elektromotor angetrieben.

Mit dieser oben beschriebenen rotierenden Hochvakuumpumpe lassen sich hohe Vakua schnell erzielen; die Pumpe besitzt zugleich den Vorteil einer übersichtlichen Konstruktion, so daß man daran den Vorgang des Pumpens genau beobachten kann.

Die Pumpe ist, wie aus Fig. 123 ersichtlich, gedrängt gebaut. erfordert keinen großen Raum und ist leicht transportabel. Mit der Pumpe in geeigneter Weise verbundene Vakuumräume können Tage und Wochen hindurch evakuiert gehalten werden, ohne daß ein Ventil oder dergl. geschlossen zu werden braucht. Die Wartung der Pumpe ist minimal, die Bedienung einfach. Jederzeit kann mit Pumpen begonnen oder aufgehört werden. Auch der Bedarf an Quecksilber ist nicht groß, es sind nur etwa 220 ccm erforderlich, und das Quecksilber bleibt vollständig rein, weil es mit keinem anderen Material als Glas in Berührung kommt.

B. Die mechanischen oder Kolbenluftpumpen.

Wie schon erwähnt wurde, sind diese Pumpen erst vor wenigen Jahren, etwa seit 1899, so weit vervollkommnet worden, daß sie zur Erzielung hoher Vakua und dementsprechend auch zum Luftleermachen von Glühlampen benutzt werden konnten. Im folgenden sind einige der beliebtesten Pumpen beschrieben worden, die sich immer mehr infolge ihrer regelmäßigen Arbeitsweise bei der Herstellung von Kohlenfadenglühlampen einführen. Die älteren Modelle dieser Kolbenpumpen stammen aus Amerika; jedoch sind viele Verbesserungen daran von deutschen Firmen mit Erfolg angebracht worden.

Eine der bekanntesten dieser Art Pumpen ist die „Geryk"-Ölluftpumpe (Patent Fleuß), welche von den Werkstätten für Präzisionsmechanik und Optik Arthur Pfeiffer in

Wetzlar gebaut und in den Handel gebracht wird. In Fig. 125 ist eine zweistieflige Pumpe in Ansicht dargestellt, während Fig. 126 einen Schnitt durch einen Pumpstiefel der zweistiefligen Pumpe zeigt. *A* ist das Saugrohr, welches nach den zu evakuierenden Lampen führt, und *B* das im Zylinder befindliche Luftloch. *C* ist eine Lederliderung, die dem Zylinder verhältnismäßig lose anliegt und durch den Druck des Öles in dem ringförmigen Raume *D* an der Zylinderwand hochgehalten wird. *E* ist das Kolbenventil, das sich nur beim Beginn des Auspumpens bewegt und gänzlich untätig bleibt, wenn eine Verdünnung von ungefähr 3 mm Quecksilber erreicht worden ist. *F* ist ein Saugrohr zum Entlasten des Kolbens bei den ersten Hüben, während *G* eine Hülse darstellt, durch welche die Kolbenstange frei hindurchgeht. Zum Abdichten der Kolbenstange dient die Liderung *I*, deren Flansch die Hülse *G* bedeckt und so mit dem Deckel *H* einen reibungslosen Ersatz für eine Stopfbüchse und zugleich ein Auslaßventil bildet.

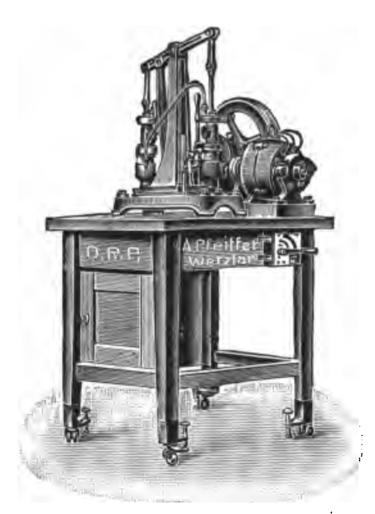


Fig. 125.

Befindet sich der Kolben an dem unteren Ende seines Hubes, so ist die Verbindung zwischen dem Saugrohr *A* und dem Zylinder durch die Öffnung *B* vollständig frei. Geht der Kolben aufwärts, so wird diese Verbindung abgeschnitten und die Luft über dem Kolben zu dem Auslaßventil *G* emporgetrieben.

Da eine Ölschicht, die höher als 13 mm ist, den Kolben bedeckt, kann keine Luft unter ihn zurückdringen. Beim Hinaufgehen des Kolbens nimmt die Spannung der abgeschnittenen Luft zu, drückt die Lederliderung fest gegen die Zylinderwand und verhindert so, daß das Öl während des Kolbenaufganges unter den Kolben tritt. Sollte doch etwas Öl unter den Kolben gelangen, so dringt es, sobald dieser das untere Ende seines Hubes erlangt hat, durch das Ventil *E*

wieder nach der Oberseite. Kommt der Kolben an das obere Ende seines Hubes, so drückt er gegen das Ventil *G* und hebt es 6,5 mm in die Höhe, so daß die Luft austreten kann. Über dem Kolben steht so viel Öl, daß eine beträchtliche Menge davon durch das Ventil *G* gedrückt wird und dabei alle Luft vor sich hertreibt. Solange der Kolben am oberen Ende seines Hubes steht, kann sich das Ventil nicht schließen, und es fließen daher die Ölmengen *I* und *K* zu einer einzigen Masse zusammen, so daß, obgleich das Ventil vollständig geöffnet ist, keine Luft zurück kann. Das Ventil *G* kann sich erst wieder schließen, wenn der Kolben um die oben erwähnten 6,5 mm abwärts gegangen und demgemäß eine 6,5 mm hohe Schicht Öl in den Zylinder zurückgeflossen ist. Diese Schicht wird bei dem nächsten Aufgange wieder durch das Auslaßventil hindurchgedrückt. Zum Nachfüllen von Öl dient der Rohrstutzen *L*.

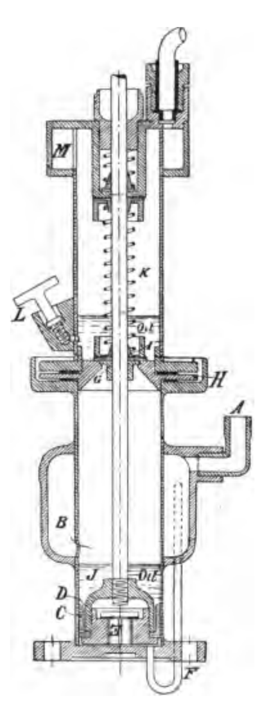


Fig. 126.

Die für das Evakuieren von Glühlampen benutzten Fleuß-Pumpen besitzen in der Regel zwei Stiefel derart, daß der zweite Stiefel dem ersten hintereinander geschaltet ist, daß also der zweite Stiefel die in ihn vom ersten Stiefel gedrückte Luftmenge nach der Außenatmosphäre ausstößt. Bei dieser Anordnung ist es möglich, eine Luftverdünnung von etwa 0,0002 mm Quecksilbersäule zu erreichen. Das verwendete Öl ist ein Spezialvakuumöl, welches nach einem besonderen Verfahren von den leicht verdampfbaren Bestandteilen vollkommen befreit worden ist.

Wie aus der Querschnittszeichnung hervorgeht, besitzt diese Pumpe die denkbar einfachste Konstruktion. Diese Einfachheit hat auf das erreichbare Vakuum einen bedeutenden Einfluß, denn die Grenze der direkten Pumpenwirkung liegt offenbar bei dem Druck, welcher den Dampfspannung des Öles und der jeweiligen Temperatur entspricht. Um aber diese Grenze zn erreichen, ist es selbstverständlich notwendig,

daß in der Pumpe selbst der durch die Flüssigkeitswirkung vermiedene schädliche Raum nicht von neuem durch eine komplizierte Ausblasevorrichtung geschaffen wird. Diese Gefahr ist in der Fleußschen Konstruktion, wie aus der Querschnittszeichnung ersichtlich ist, vollständig vermieden.

Der Kraftverbrauch der Geryk-Pumpen, der ja nicht nur aus ökonomischen Gründen bei Motorbetrieb in Betracht kommt, sondern besonders auch dann, wenn man eine Motorpumpe auch von Hand betreiben will, ist außerordentlich gering. Es rührt dies zum Teil wiederum von der Einfachheit der Konstruktion her, aber auch von der exakten Ausführung der bewegten Teile.

Eine weitere recht brauchbare Luftpumpe mit Öldichtung und Teleskopkolben[1]) ist in den Werkstätten für Präzisionsmechanik und Elektrotechnik von Max Kohl in Chemnitz konstruiert worden. Das hohe Vakuum (0,0002 mm) wird in ähnlicher Weise erreicht, wie bei der Geryk-Pumpe, dadurch, daß eine über dem Kolben befindliche Ölschicht die Luft aus dem schädlichen Raum verdrängt. Diese Verdrängung der Luft geschieht durch eine eigenartige Kolbenkonstruktion unter Benutzung des Umstandes, daß Luft infolge ihres geringen spezifischen Gewichtes in Flüssigkeiten aufsteigt.

In Fig. 127 ist eine Kohlpumpe mit Teleskopkolben in Ansicht (zwei Stiefel hintereinander geschaltet, und in Fig. 128 ein Schnitt eines Stiefels dargestellt. Der Querschnitt des Stiefels mit dem Kolben zeigt den letzteren in seiner oberen Stellung. In dem aufrechtstehenden Stiefel *A* läßt sich der Kolben *B* mit Hilfe der Kolbenstange *C* auf und ab schieben. Die Kolbenstange ist im Deckel *D* des Stiefels luftdicht durch eine Liderung *E* geführt. Zum sicheren Luftabschluß ist die Liderung mit Öl bedeckt. Der Stiefel *A* trägt in einiger Entfernung vom Boden *F* seitlich ein Verbindungsrohr *G* nach dem zweiten Stiefel der Pumpe. Dieses Rohr steht durch ein zweites Rohr *H* mit dem Stiefelboden in Verbindung.

Die Kolbenstange *C* ist hohl und das Innere bildet einen Ölraum *I*. Dieser steht an seinem oberen Ende durch mehrere Öffnungen *K* mit der oberen Abteilung *L* des Stiefels in Verbindung. An seinem unteren Ende besitzt der Ölraum Kanäle *M*, welche ihn in noch näher zu beschreibender Weise

[1]) D.R P. 169180.

in Verbindung mit dem Stiefel *A* bringen. Der Kolben besitzt nun folgende Einrichtung: Er besteht aus zwei teleskopartig ineinander verschiebbaren Teilen, dem Außenkolben *B* und dem Innenkolben *N*, Letzterer ist mit der Kolbenstange

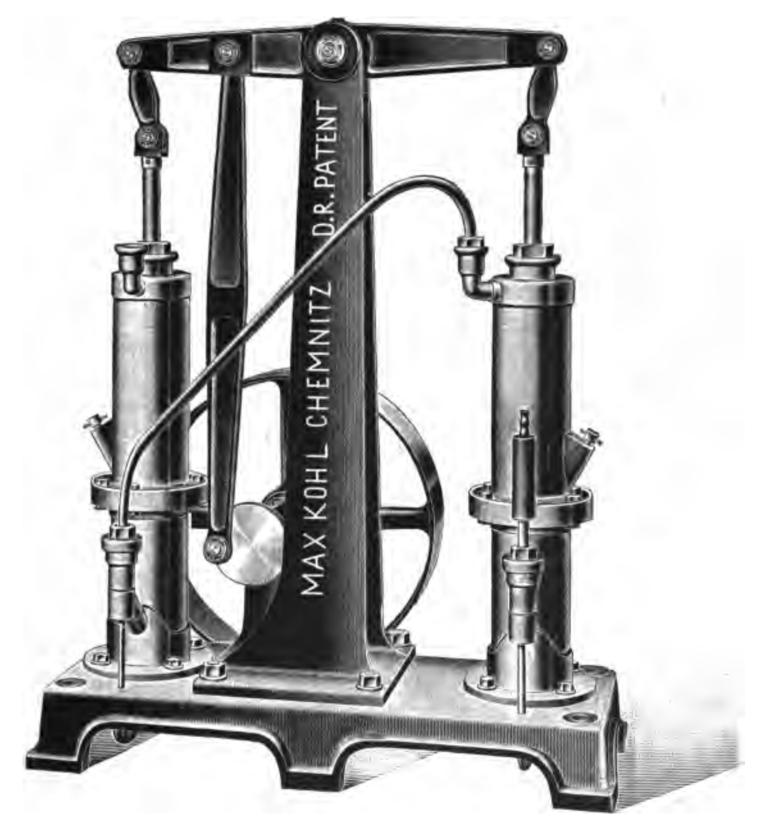


Fig. 127.

est verbunden. Eine Spiralfeder *O* hält die beiden Kolben in auseinandergezogenem Zustande, wobei das Auseinanderziehen seine Grenze findet an den Köpfen der Schrauben *P*. Der Innenkolben *N* ist luftdicht durch die Ledermanschette *Q* geführt. Letztere besorgt gleichzeitig die luftdichte Führung

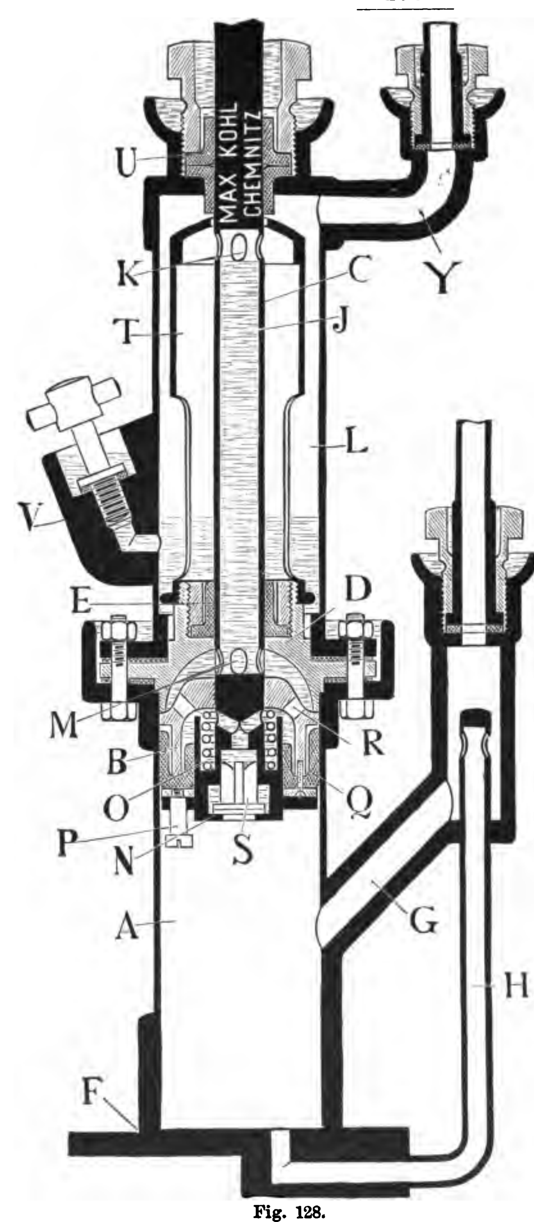


Fig. 128.

des Außenkolbens *B* im Stiefel *A*. Der Hohlraum des Kolbens *B* steht durch Öffnungen *R* mit dem Stiefel *A* in Verbindung. Der Kolben ist mit Öl bedeckt, welches auch den Hohlraum des Kolbens füllt. Die Kanäle *M* am unteren Ende des Ölraumes *J* stehen, wenn der Kolben auseinandergezogen ist, mit dem Stiefel nicht in direkter Verbindung, da der Kolben *B* sie verschließt. Wenn der Kolben *B* aber bis an das obere Ende des Stiefels *A* gelangt ist, wie es in der Fig. 128 dargestellt ist, so stößt er gegen Deckel *D*, und die Kolbenstange *C* zieht sich ein Stück aus dem Kolben *B* heraus. Dadurch werden die Kanäle *M* frei und treten in direkte Verbindung mit dem Stiefel *A*.

Der Hergang beim Pumpen ist der folgende: Der Kolben sei auf dem

untersten Stande, und es beginne die Aufwärtsbewegung. Der Kolben ist auseinandergezogen. Das Verbindungsrohr *G* nach dem Rezipienten steht in Verbindung mit dem Stiefel *A*, es befindet sich mithin im Stiefel *A* und dem Rezipienten Luft von gleicher Dichte. Beim Aufwärtsgange passiert der Kolben *B* das Rohr *G*, sperrt damit den Raum über dem Kolben vom Rezipienten ab und komprimiert in demselben die Luft so lange, bis der Außenkolben *B* an den Deckel anstößt, die Kolbenstange sich aus dem Kolben herauszieht und die Kanäle *M* in direkte Verbindung mit dem Stiefel *A* treten, wie es in der Fig. 128 dargestellt ist. Die Luft entweicht in den Ölraum *J* in der Kolbenstange, steigt in demselben auf und tritt durch die Öffnungen *K* in die obere Abteilung *L* des Stiefels. Aus diesem entweicht die Luft bei den einstiefligen Luftpumpen durch Löcher am oberen Ende direkt in die Atmosphäre. Bei den zweistiefligen Luftpumpen ist der weitere Hergang anders und weiter unten beschrieben. Mit dem Herausziehen der Kolbenstange aus dem Kolben wird gleichzeitig der Innenkolben *N* in den Hohlraum des Kolbens *B* hineingezogen und dadurch ein Teil des Öles aus dem Hohlraume verdrängt. Dieses Öl tritt durch die Öffnungen *R* des Kolbens in Strahlform in den schädlichen Raum und verdrängt etwa dort haftende Luftreste vollständig in den Ölraum *J*; der schädliche Raum wird gewissermaßen ausgespült.

Beim Abwärtsgange des Kolbens schiebt sich zunächst unter dem Einfluß der Spiralfeder *O* die Kolbenstange zurück in den Kolben *B*, und dieser sperrt die Kanäle *M* gegen den Stiefel *A* wieder ab. Dabei wird durch das Herausschieben des Innenkolbens *N* aus dem Hohlraum des Kolbens *B* das Öl aus dem schädlichen Raume in den Hohlraum gezogen und Öl aus dem Ölraum *J* der Kolbenstange in den Pumpenstiefel nachgesaugt. Um sicher zu gehen, daß sich bei jedem Aufwärtsgange des Kolbens genug Öl im Hohlraum des Kolbens befindet, um den schädlichen Raum ganz auszufüllen, und damit stets ein kleiner Überschuß vorhanden ist, ist die Kolbenstange an der Stelle, wo sich die Kanäle *M* befinden, im Kolben nicht besonders abgedichtet, sondern nur lose eingepaßt, damit beim Abwärtsgange des Kolbens eine kleine Menge Öl durch die Kanäle *M* in den Hohlraum des Kolbens und über diesen tritt.

Beim Abwärtsgange des Kolbens entsteht im Stiefel *A* oberhalb des Kolbens ein luftleerer Raum, bis der Kolben

das Verbindungsrohr *G* passiert hat, durch dessen Öffnung ein Ausgleich der Luft zwischen dem Rezipienten und dem Stiefel stattfindet. Damit ist der einmalige Vorgang beendet, und der nächste Hub kann beginnen.

Um den Gang der Luftpumpe, namentlich am Anfange des Pumpens, zu erleichtern, ist das Rohr *H* im Stiefelboden angebracht. Es hat den Zweck, zu verhindern, daß der Kolben unnötigerweise bei jedem Aufwärtsgange einen luftleeren Raum unterhalb des Kolbens erzeugt. Im Innenkolben *N* ist ein Bodenventil *S* angebracht, um zu Anfang des Pumpens den Gang der Pumpe zu erleichtern, indem das Ventil sich beim Abwärtsgange des Kolbens öffnet und einen Ausgleich der Luft zwischen dem Raume oberhalb des Kolbens und dem Rezipienten herbeiführt.

Um ein Verspritzen des Öles nach außen bei dem Hineinpressen der Luft in den Ölraum *J* der Kolbenstange zu verhindern, ist die Kolbenstange von einem Rohr *T* umgeben, welches nur am unteren Ende weite Öffnungen hat. Das aus den Öffnungen *K* spritzende Öl wird von dem Rohre *T* abgefangen und läuft in demselben nach unten. Der durch das Herausspritzen verursachte Verlust an Öl in den Ölraum *J* der Kolbenstange gleicht sich beim Abwärtsgange des Kolbens wieder aus, indem Öl aus der oberen Abteilung *L* des Stiefels durch die Öffnungen *K* in den Ölraum der Kolbenstange zurückläuft. Die Anordnung der Öffnungen *K* am oberen Ende des Ölraumes *J* in Verbindung mit dem Rohre *T* verhindert ein Herausspritzen von Öl aus der Luftpumpe vollkommen. Es ist dies ein wesentlicher Vorteil, den diese Luftpumpe gegenüber ähnlichen besitzt, da es sehr wichtig ist, daß die Öffnung der Luftpumpe dauernd auf der gleichen Höhe erhalten bleibt. Damit man sich davon überzeugen kann, daß der Ölinhalt der Luftpumpe der richtige ist, ist an der oberen Abteilung des Stiefels seitlich eine Füllschraube *V* für das Öl in solcher Höhe angebracht, daß der Ölinhalt ohne weiteres richtig ist, wenn bei der Stellung des Kolbens auf halbem Hub sich an der Flügelschraubenöffnung weder mehr Öl einfüllen läßt noch solches wieder herausläuft.

Bei den einstiefligen Luftpumpen entweicht die abgesaugte Luft, wie oben erwähnt, aus dem Raum *L* durch Löcher am oberen Ende direkt in die Atmosphäre. Bei den zweistiefligen Luftpumpen ist der Raum *L* gegen die Atmosphäre

luftdicht abgeschlossen und steht durch das Rohr *Y* mit dem Saugrohr des zweiten Stiefels in Verbindung. Der Raum *L* bildet somit den Rezipienten für den zweiten Stiefel. Der Vorgang im zweiten Stiefel spielt sich in derselben Weise ab wie im ersten. Nur wird im zweiten Stiefel die Luft aus *L* in die Atmosphäre getrieben. Dadurch aber, daß durch den zweiten Stiefel im Raume *L* des ersten Stiefels eine weitere Verdünnung erzeugt wird, erzielt man im Rezipienten einen außerordentlich hohen Grad der Luftverdünnung.

Um ein recht präzises Arbeiten der Pumpe zu ermöglichen, sind die von der Firma Max Kohl in Chemnitz angegebenen Behandlungsmaßregeln genau einzuhalten. Vor allen Dingen hat man sich zuerst zu überzeugen, ob die Pumpe noch das richtige Quantum Öl enthält, mit dem sie vor dem Versand gefüllt wurde, da auf dem Transport Öl ausgelaufen sein kann, wenn die Luftpumpe gestürzt worden ist. Man pumpt zu diesem Zwecke etwa 20 mal auf und ab, damit das Öl, welches in die Verbindungsrohre gelaufen sein kann, in den Stiefel zurückgesaugt wird. Dabei ist darauf zu achten, daß der Kolben jedesmal bis in seine Endstellungen gedrückt wird, da andernfalls die Luftpumpe nicht richtig funktioniert. Hierauf entfernt man bei den zweistiefligen Luftpumpen das Verbindungsrohr zwischen den beiden Stiefeln und die Füllschraube *V* an der oberen Abteilung des Stiefels, füllt mit einem Trichter ein wenig von dem der Luftpumpe beigegebenen Öle ein und setzt die Schraube wieder ein. Man pumpt nochmals etwa 90 mal auf und ab und kontrolliert den Ölstand, wenn der Kolben auf halbem Hub steht, indem man die Füllschraube *V* entfernt. Der Ölstand ist richtig, wenn bei der Stellung des Kolbens auf halbem Hub sich an der Füllschraube weder noch mehr Öl einfüllen läßt noch solches wieder herausläuft. Man fülle nicht zuviel Öl ein, da die Luftpumpe sonst weniger gut arbeitet. Wie schon oben erwähnt, muß bei jedem Kolbenhube der Kolben bis in seine beiden Endstellungen gebracht werden. Dies ist unbedingt nötig und wohl zu beachten.

Am Ende des Aufwärtsganges des Kolbens setzt die Spiralfeder im Kolben der Bewegung einen gewissen Widerstand entgegen; dieser muß langsam und gleichmäßig, nicht ruckweise, überwunden werden, damit die über dem Kolben zusammengepreßte Luft in den Ölraum der Kolbenstange entweicht. Drückt man den Kolben nicht bis an das Ende, so

dehnt sich die Luft beim Abwärtsgange des Kolbens wieder aus und füllt den Stiefel wieder. Die Pumpe wirkt in diesem Falle überhaupt nicht. Bei den Luftpumpen mit Schwungrad wird die vorstehende Bedingung von selbst erfüllt.

Das Pumpen darf nicht zu schnell erfolgen und der Kolben nicht häufiger als etwa 30 mal in der Minute auf und ab bewegt werden. Wenn schneller gepumpt wird, so erhält man schlechtere Resultate. In die Ölnuten an den Dichtungsstellen ist Öl zuzugießen, damit diese Stellen unter Öl stehen. Wenn die Ölfüllung der Luftpumpe erstmalig auf den richtigen Stand gebracht worden ist, so erhält sich dieselbe auf demselben sehr lange Zeit, da ein Verspritzen des Öles nicht vorkommt.

Ist nach langem Gebrauch das Öl sehr schmutzig geworden, so braucht man die Luftpumpe nicht auseinanderzunehmen und zu reinigen, sondern man ersetzt das Öl, indem man das Verbindungsrohr bei *W* abschraubt und die Füllschraube *V* entfernt. Man füllt dann bei *W* neues Öl ein und pumpt einige Male langsam auf und ab. Das schmutzige läuft bei *V* ab. Man füllt bei *W* wieder neues Öl ein und wiederholt diesen Vorgang, bis bei *V* nur reines Öl abläuft. Dann schraubt man das Verbindungsrohr und die Füllschraube wieder ein.

Bei Nichtgebrauch stellt man den Kolben auf halben Hub. Die Verbindung des Saugrohres *X* mit dem auszupumpenden Raum erfolgt durch einen starken Gummischlauch mit Spiraleinlage, welcher auf das Saugrohr *X* aufgeschoben und eingeschnürt wird. Das Saugrohr ist von einem weiteren Messingrohr umgeben, welches auf einen Gummistöpsel aufgeschoben ist. Dieses Rohr zieht man von dem Gummistöpsel ab und schiebt es über den Gummischlauch, ehe man denselben festbindet. Darauf steckt man das Messingrohr wieder auf den Gummistöpsel und füllt den Zwischenraum mit Öl.

Große Ähnlichkeit mit der Pfeifferschen Luftpumpe weist die auch von der Firma Max Kohl in Chemnitz hergestellte Ölluftpumpe mit Öl-Rücklaufventil auf[1]).

Diese Pumpe zeichnet sich besonders durch ihren leichten Gang aus. Die äußerste Form der Pumpe mit Öl-Rücklaufventil stimmt genau mit der größeren Form der schon beschriebenen Luftpumpe mit Teleskopkolben überein; grundsätzliche Unterschiede bestehen zwischen den beiden Typen

---

[1]) D.R.P. 186078.

in der außen nicht sichtbaren, verschiedenen Konstruktion und Anordnung des Pumpenkolbens und der Ventile.

Die Abbildungen Fig. 129 *I* und *II* zeigen je einen Querschnitt durch einen Pumpenstiefel. Fig. *I* zeigt den

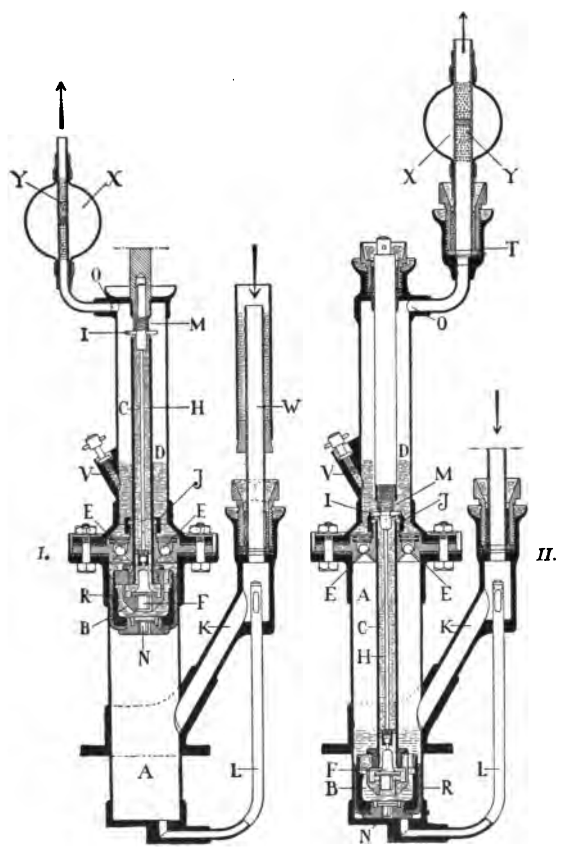


Fig. 129.

Kolben in seiner höchsten Stellung, Fig. *II* zeigt ihn in der niedrigsten. Der Kolben *B* läßt sich mit Hilfe der hohlen Kolbenstange *C* in dem aufrecht stehenden Stiefel *A* auf und ab bewegen. Die Kolbenstange ist im Deckel des Stiefels *A*

durch eine Liderung geführt. Zum sichtbaren Luftabschluß ist die Liderung mit Öl bedeckt. Der Stiefel *A* ist in einiger Entfernung oberhalb seines Bodens durch ein seitliches Verbindungsrohr *K* mit dem Rezipienten verbunden. Dieses Rohr steht durch ein zweites Rohr *L* mit dem Stiefelboden in Verbindung.

In dem Kolben *B* ist an der Ventilstange *H* das Ventil *F* befestigt, welches mittels der durch die Ölkammer *C* geführten Ventilstange H und der oben in der Kolbenstange angebrachten Feder für gewöhnlich geschlossen wird. Beim Auftreffen des an der Ventilstange befestigten Stiftes *I* auf den festen Anschlag *J* während der Abwärtsbewegung des Kolbens wird die Ventilstange aufgehalten, und dadurch wird das Ventil *F* geöffnet. Der Anschlag *J* besteht in einer Schraubenmutter, welche höher und tiefer gestellt werden kann. Der Kolben ist mit Öl bedeckt; ebenso enthält die Kammer *D* über dem Stiefel und die hohle Kolbenstange Öl. Durch ein oder mehrere leicht gehende Ventile *E* steht der Pumpenstiefel mit der Ölkammer *D* zeitweise in Verbindung; diese Ventile sind als Kugelventile ausgebildet und haben sich in der vorliegenden Anordnung sehr gut bewährt.

Die durch eine Schraube verschließbare Einfüllöffnung *V* dient zum Nachfüllen von Öl, wenn dasselbe verbraucht ist. Das Ende der Saugröhre *W*, Fig. *I*, ist mit Schlauchrillen versehen und von einem Mantel umgeben, welcher unten durch einen Stöpsel geschlossen ist, so daß die Anschlußstelle des Schlauchs durch Einfüllen von Öl gleichfalls eine Öldichtung erhält. An die Öffnung *O* ist eine senkrecht aufwärts führende Röhre *Y* angeschlossen. Diese enthält eine Querwand; unter und über der Querwand sind die Rohrwandungen bis auf eine gewisse Länge siebartig durchlöchert; der ganze durchlöcherte Teil dieser Röhre ist in eine Glaskugel *X* eingeschlossen, so daß die aus *O* austretenden Ölluftbläschen nicht geradewegs in die Luft entweichen kännen, sondern das Öl erst abscheiden. Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Abbildung Fig. *I* den Stiefel einer einstiefligen Pumpe darstellt, Fig. *II* jedoch einen Stiefel einer zweistiefligen Pumpe. Besonders auf eine luftdichte Führung der Kolbenstange in ihrem obersten Teil ist bei der zweistiefligen Pumpe großer Wert gelegt (vgl. Fig. *II*), weil der Raum über der Ölkammer *D* des einen Stiefels nicht mit der freien Luft in Verbindung stehen darf, sondern den Rezipienten für den andern Stiefel bilden muß.

Der Hergang des Pumpens vollzieht sich folgendermaßen: Der Kolben sei auf dem untersten Stande Fig. *II*, und es beginne die Aufwärtsbewegung. Sobald die Ledermanschette *R* des Kolbens die Stelle erreicht hat, in welcher sie die Saugröhre *K* verschließt, beginnt der Kolben die über ihm im Stiefel befindliche Luft zusammenzudrücken, bis sich die leicht gehenden Kugelventile *E* öffnen und die Luft aus dem Stiefel entweichen lassen. Diese Luft steigt in Bläschen durch das Öl der Ölkammer *D* auf und tritt durch die Öffnung *O* in die Außenatmosphäre. In der Glaskugel *X* scheiden sich etwa mitgeführte Ölteilchen ab und fließen wieder in die Ölkammer zurück. Da über dem Kolben eine Ölschicht liegt, so wird beim weiteren Steigen des Kolbens auch der letzte Rest von Luft, der sich in dem Stiefel befindet, aus demselben durch das Öl verdrängt; die Ölmenge in dem Stiefel ist immer so reichlich bemessen, daß noch ein Teil des Öles mit aus den Ventilen ausgestoßen wird, ehe die Abwärtsbewegung des Kolbens beginnt. Das Öl spült also auch etwa an den Wänden haftende Luftbläschen mit heraus. Beim Abwärtsgang schließen sich die Ventile *E* sogleich, und es kann während desselben weder Öl noch Luft in den Stiefel gelangen. Um den Gang der Pumpe zu Beginn der Abwärtsbewegung des Kolbens zu erleichtern, ist in dem Kolben *B* noch ein Ventil *N* angebracht, welches sich in diesem Augenblicke öffnet und dadurch einen Ausgleich zwischen dem Raume oberhalb des Kolbens und dem Rezipienten ermöglicht. Für das aus dem schädlichen Raume ausgestoßene Öl muß nach jedem Kolbenhub Ersatz in den oberen Teil des Stiefels gebracht werden. Da es sehr wichtig ist, daß das in den Stiefel einzuführende Öl in möglichst hohem Grade luftfrei ist, so ist durch die eigenartige Konstruktion der Pumpe gesorgt, daß das aus dem Stiefel gedrückte Öl nicht sofort wieder zur Verwendung kommt, das Öl bleibt vielmehr während einiger Kolbenhube unbenutzt, kann sich in dieser Zeit von Luft vollständig abklären und wird erst dann verwendet. Der Ersatz des Öles findet in folgender Weise statt: Durch die Öffnungen *M* in dem mittleren Teil der Kolbenstangen fließt jedesmal, wenn der Kolben seiner tiefsten Stellung nahe ist, Öl aus der Ölkammer *D* in die hohle Kolbenstange oben ein. Dieses Öl hat sich, während der Kolben abwärts ging, von den aus dem Stiefel ausgestoßenen Luftbläschen bereits genügend abgeklärt. Ungefähr gleichzeitig hiermit trifft auch der Stift *J* auf den

Anschlag *J*, so daß das Ventil *F* geöffnet wird. Vermöge seiner Eigenschwere, oder, wenn im Rezipienten schon eine Luftverdünnung erzielt ist, durch den außen überwiegenden Luftdruck, strömt das im unteren Teil der hohlen Kolbenstange befindliche Öl zum Teil in den Stiefel ein. Das in den oberen Teil der hohlen Kolbenstange eingeflossene Öl sinkt also nach und nach, dem Verbrauch am unteren Ende entsprechend, herab und klärt sich weiterhin von Luftresten ab, worin es durch die Bewegungen des Kolbens noch unterstützt wird.

Die Ölmenge, welche beim Öffnen des Ventils *F* in den Kolben gelassen wird, kann durch Hoch- oder Tiefschrauben der Mutterschraube *J*, welche die Ventilstange bei der Abwärtsbewegung aufhält, geregelt werden. Dies ist von Wichtigkeit bei zweistiefeligen Luftpumpen, wenn die beiden Stiefel hintereinander geschaltet sind, weil bei diesen die Ölsäule aus dem einen Pumpenkolben unter höherem Druck in den Stiefel gepreßt wird wie aus dem anderen.

Die Bedienung der Luftpumpe sowie die Versorgung mit Öl usw. während des Betriebes ist die gleiche wie die schon beschriebene Kohlpumpe.

Eine eigenartige Kolbenluftpumpe, die an Stelle des Öles nur mit Quecksilber betrieben wird, ist die von Hermann Schulze-Berge und Franz Schulze-Berge in Brooklyn erbaute Pumpe, welche in Fig. 130 bildlich dargestellt ist. Bei ihr wird zur Verdrängung der Luft aus der Evakuationskammer ein in dieselbe eingeführter, aus festem Material gebildeter und mit Quecksilber umgebener Kolben benutzt. Dadurch wird die Notwendigkeit, die ganze Evakuationskammer mit Quecksilber zu füllen, vermieden, die zum Betriebe erforderliche Quecksilbermenge bedeutend vermindert und die Leistungsfähigkeit der Pumpe in hohem Grade gesteigert.

Das Vakuumgefäß *A* in Fig. 130 *1* ist am unteren Ende offen. Es ist mit Hilfe der Winkelstützen *I* am Gestell *F* befestigt und umfaßt einen aus festem Material bestehenden Kolben *P*. Mit diesem ist ein konzentrischer Mantel *M* unten fest verbunden. Der Zwischenraum zwischen *M* und *P* ist mit einer Quecksilbermenge *Q* versehen, in welche das untere Ende des Gefäßes *A* eintaucht. Der Kolben *P* kann zwischen den Gleitschienen *2* vermittels der Pleuelstange *3* und des Krummzapfens *4* durch Drehung Achse *5* geradlinig auf und ab bewegt werden.

Bei der in der Zeichnung dargestellten Konstruktion des Apparates ist vorausgesetzt, daß mit der Quecksilberluftpumpe eine andere (in der Zeichnung nicht dargestellte) Hilfsluftpumpe verbunden sei, welche an das Rohr *6* angeschlossen ist, und welche im stande ist, in dem Vakuumgefäß *A* und einem durch Rohr *8* mit demselben verbundenen (in der Zeichnung ebenfalls nicht abgebildeten) Rezipienten den Luftdruck auf einige Millimeter Quecksilberdruck zu reduzieren.

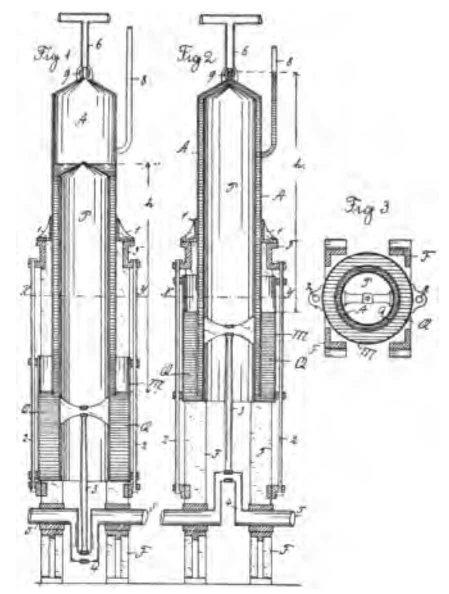


Fig. 130.

Zwischen der Hilfspumpe und dem Vakuumgefäß *A* ist der Hahn *9* eingeschaltet.

Hat der Kolben die in Fig. 130 *1* angegebene Stellung, und wird dann die Hilfspumpe in Tätigkeit gesetzt, während der Hahn *9* offen ist, so steigt das zwischen *P* und *A* befindliche Quecksilber, bis das höchste durch die Hilfspumpe herstellbare Vakuum erreicht ist. Die Niveaudifferenz entspricht der jeweiligen Druckdifferenz zwischen der Atmosphäre und dem in *A* erzielten Vakuum.

Wird der Kolben gehoben, während die Hilfspumpe in Tätigkeit bleibt, so treibt er die in *A* vorhandene Luft durch Rohr *6* nach der Hilfspumpe hin aus. Die Quecksilbermenge des Apparates ist dabei so bemessen, daß, wenn der Kolben seine höchste, in Fig. *2* wiedergegebene Stellung einnimmt, die durch die Hilfspumpe gehobene Quecksilbermenge ausreicht, um den Zwischenraum zwischen dem Kolben und dem Vakuumgefäß vollständig auszufüllen und in die Bohrung des Hahnes *9* hinein- oder eine kurze Strecke durch dieselbe hindurchzutreten. Wird der Hahn *9* alsdann geschlossen und der Kolben gesenkt, so entsteht oberhalb des letzteren

ein Toricellisches Vakuum. In diese Evakuationskammer strömt Luft aus dem Rezipienten durch das Rohr *8* ein. Diese Luft wird durch ein erneutes Heben des Kolbens und rechtzeitiges Öffnen des Hahnes *9* wieder durch Rohr *6* zur Hilfspumpe ausgetrieben und das Spiel der Pumpe so oft wiederholt, bis der gewünschte Grad der Evakuation erzielt ist.

Bei dieser Einrichtung steht das Quecksilber, wie ersichtlich, beständig in freier Verbindung von der Innenseite des Gefäßes *A* nach der Außenseite. Die Höhe *h* (Fig. 130 *1*) der im Innern von *A* barometrisch gehobenen Quecksilbersäule entspricht daher stets dem Druckunterschiede zwischen der Atmosphäre und dem in *A* vorhandenen Vakuum. Die Weite und Höhe des Mantels *M* und die in demselben enthaltene Quecksilbermenge müssen den Dimensionen von *A* und *P* und der Hubhöhe des Kolbens entsprechend bemessen werden. Nach demselben Prinzip läßt sich eine Luftpumpe ausführen, bei welcher der Kolben *P* seine Lage dauernd beibehält, während das Vakuum *A* auf und ab bewegt wird.

Mehrere Pumpen der beschriebenen Art können von derselben Achse aus gleichzeitig betrieben werden.

Der Hahn *9* zwischen *A* und *6* kann durch ein automatisches Ventil bekannter Konstruktion oder auch durch ein geeignetes Flüssigkeitsventil ersetzt werden. Auch kann das Rohr *8*, welches den Rezipienten mit *A* verbindet, an einer höheren Stelle in *A* einmünden, als in der Figur angedeutet ist, wenn ein zweckmäßig in *8* eingeschaltetes Ventil die Rückkehr der Luft zum Rezipienten während der aufwärts gerichteten Bewegung des Kolbens verhindert. Die Höhe von *A* und *P* kann bei unveränderter Hubhöhe des Kolbens vermindert werden, wenn die Oberfläche des zwischen *A* und *M* befindlichen Quecksilbers einem geringeren Druck als dem der Atmosphäre ausgesetzt wird. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß der ganze Apparat in ein luftdichtes Hohlgefäß eingeschlossen wird, durch dessen Wandung die Röhren *6* und *8* und die Achse *5* luftdicht hindurchgeführt sind, und in dessen Innerm ein partielles Vakuum hergestellt wird. In diesem Falle wird natürlich auch die Höhe der barometrischen Flüssigkeitssäule, welche zur Herstellung des Toricellischen Vakuums in *A* dient, entsprechend verringert.

Die Pumpe kann anderseits auch so eingerichtet werden, daß sie ganz ohne Mitwirkung einer Hilfspumpe arbeitet. Ändert man die Befestigung des Gefäßes *A* derart ab, daß

der Mantel *M* nach oben hin verlängert werden kann, so daß sein oberer Rand höher liegt als der Hahn *9*, und macht man denselben weit genug, um auch das Rohr *8* mit zu umfassen, so ist es nur nötig, diesen Mantel, während der Kolben die Stellung Fig. 130 *2* hat, mit Quecksilber zu füllen, um alle Luft aus dem Gefäß *A* durch Hahn *9* auszutreiben. Durch Senken und Heben von *P* kann dann ganz analog der gewöhnlichen Geißlerschen Pumpe die Evakuation eines Rezipienten ausgeführt werden.

Die Kapazität der beschriebenen Pumpe hängt, wie aus der Zeichnung ersichtlich, von den Dimensionen ihrer Teile ab.

C. Die rotierenden Pumpen.

Auch diese Art von Pumpen finden sehr häufig Anwendung in der Glühlampenfabrikation und eignen sich besonders dann, wenn aus irgendeinem Grunde, z. B. wegen Platzmangels, die Aufstellung anderer Pumpenarten sehr erschwert wird. Die mit Quecksilber betriebenen Pumpen haben außerdem die Annehmlichkeit, daß das Quecksilber vollkommen nach außen hin abgeschlossen ist und so nicht durch schädliche entstehende Quecksilberdämpfe die Gesundheit der Arbeiter zu beeinträchtigen vermögen. Immerhin haben sie jedoch, ebenso wie die unter *B* beschriebenen Kolbenpumpen, die Unannehmlichkeit gegenüber den Sprengelpumpen, daß man das Fortschreiten und das erreichte Vakuum nicht ohne weiteres sehen kann, sondern zur Feststellung der erreichten Luftverdünnung erst einen besonderen Apparat zwischen Rezipienten und Pumpe einschalten muß. Die Pumpen, welche nach der Bauart und dem Verwendungszweck mit Quecksilber oder Öl betrieben werden können, arbeiten im allgemeinen sehr schnell, und das erzielte Vakuum ist ein sehr hohes. Sie sind auch erst in den letzten zehn Jahren weiter ausgebaut worden und in der letzten Zeit in den verschiedenartigsten Modellen aufgetreten.

Eine dieser rotierenden Quecksilberluftpumpen, die eigens zum Evakuieren von Glühlampen konstruiert worden sind, rührt her von Archibald Barr in Glasgow und William Stroud in Leeds[1]). Die Pumpe wirkt durch eine äußere und innere Luftverdünnungskammer. von welchen die erstere

[1]) D.R.P. 91472 vom 30. Mai 1896.

durch eine gewöhnliche Luftpumpe eine geringere Luftverdünnung erfährt, während die letztere mit dem auszupumpenden Gefäß verbunden ist, durch eine in derselben angeordnete umlaufende Trommel mit geeigneten Kanälen die Luft aus dem betreffenden Gefäß aussaugt und in die erste Kammer abgibt. Die beiden Kammern sind hierbei durch Quecksilber, welches beide zum Teil füllt, voneinander abgeschlossen.

Die über dem Flüssigkeitsstand der inneren Kammer befindliche Luft wird durch die Trommelkanäle unter die Oberfläche der Flüssigkeit geführt und zu einer Luftblase zusammengepreßt, welche infolge ihrer Schwimmfähigkeit und durch die Kanäle durchströmende Flüssigkeit aus zentralen Öffnungen der Trommel in die äußere Kammer austritt.

Um eine möglichst vollkommene Luftverdünnung zu erreichen, sind die Trommelkanäle an geeigneten Stellen derartig verengt und gekrümmt, daß die Durchströmungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit und die Reibung der letzteren an den Kanalwänden erhöht wird. Außerdem erfahren durch diese Gestaltung, bei schon erfolgter starker Luftverdünnung, die in diesem Falle nur noch kleinen Luftblasen, welche leicht an den Kanalwänden sich festsetzen könnten, erst dann eine Druckverminderung, und können dieselben erst dann wieder durch die Flüssigkeit in den Raum über dem Stand derselben aufsteigen, wenn der letztere schon wieder durch die die äußere Eintrittsöffnung des Trommelkanales abschließende Flüssigkeit von dem auszupumpenden Gefäß abgeschieden ist. Die in dem Kanal zurückbleibende Luftblase wird also bei jeder Trommelumdrehung durch die neu in den Kanal eintretende Luft vergrößert, bis sie eine genügende Ausdehnung erreicht hat, um wie die früheren durch die zentrale Kanalöffnung und die Flüssigkeit in die äußere Kammer zu entweichen.

Auf den beifolgenden Zeichnungen (Fig. 131) sind in *1*—*4* und *5*—*7* zwei Ausführungen einer derartigen Luftpumpe dargestellt.

Bei der ersten Ausführungsform sind in der umlaufenden Trommel C (Fig. 131 *1*, *2* und *4*) drei Kanäle F_1, F_2 und F_3 vorgesehen, welche durch die äußeren Lufteintrittsöffnungen G_1, G_2 und G_3 mit dem inneren Luftverdünnungsraum A und durch das in diesem befindliche Rohr D mit dem auszupumpenden Gefäß in Verbindung stehen, während die mittleren Öffnungen H_1, H_2 und H_3 (siehe H_3 in Fig. 131 *3*) der in die Kanäle ein-

geführten Luft ein Austreten durch die Flüssigkeit in den Raum *B* (Fig 131 *1* und *2*) gestatten.

Der Raum *A* wird gebildet durch den unteren Teil des äußeren Mantels *Z* und die Kappe *X*, die Kammer *B* durch die Kappe *X*, den oberen Teil des Mantels *Z* und den Deckel *J*.

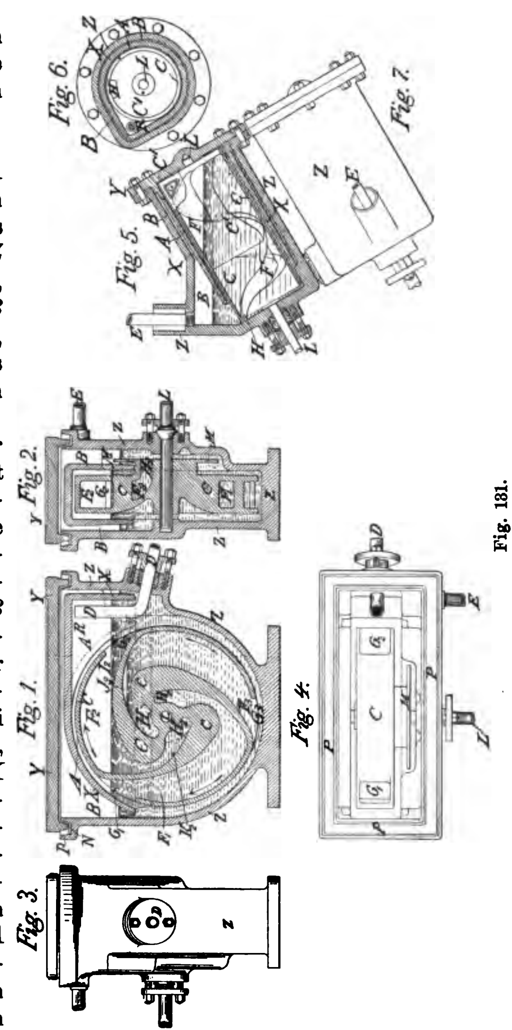


Fig. 131.

Das Innere der Pumpe wird so weit mit Quecksilber gefüllt, daß die Kappe *X* in dasselbe eintaucht und die Kammern *A* und *B* durch das Quecksilber voneinander abgeschlossen werden. Es ist hierbei darauf zu achten, daß die Kappe *X* genügend weit eintaucht, da bei arbeitender Pumpe infolge des Druckunterschiedes in den beiden Kammern *A* und *B* die Flüssigkeit in *B* sinken und in *A* steigen wird. Die Welle *L*, das Rohr *D* und der Deckel *J* werden durch Stopfbüchsen, Packungen und Quecksilberfüllungen in der Rinne *P* in genügender Weise abgedichtet.

Bei Drehung der Trommel *C* gelangt die Öffnung G_1 des

Kanales F_1 zunächst aus der in Fig. 131 *1* angegebenen Stellung über die Oberfläche des Quecksilbers, die hier befindliche Luft tritt in F_1 ein, bis bei weiterer Drehung das Quecksilber die Öffnung G_1 wieder abschließt. Die jetzt in dem Kanal befindliche Luft wird unter die Oberfläche des Quecksilbers geführt und durch das infolge der Trommeldrehung den Kanal durchströmende Quecksilber zu einer Luftblase J_3 (auf der Zeichnung *1* im Kanal F_3 dargestellt) zusammengedrückt. Kommt bei weiterer Drehung der Kanal in seine Anfangsstellung zurück (F_1, Fig. 131 *1*), so steigt die Luftblase infolge ihrer Schwimmfähigkeit in dem Kanal in die Höhe, bis sie die mittlere Austrittsöffnung H_1 erreicht und durch das Quecksilber in die durch Röhre E (Fig. 131 *2* und *4*) mit einer gewöhnlichen Luftpumpe verbundene Kammer B entweicht. Das Austreten der Luft wird noch gefördert durch das den Kanal durchströmende Quecksilber, welchem durch geeignete Verengung des Kanales noch eine größere Durchströmungsgeschwindigkeit und Reibung an den Kanalwänden erteilt wird.

Wie Fig. 131 *1* (Kanal F_2) zeigt, ist die Form der Kanäle so gewählt, daß etwa an den Kanalwänden hängen bleibende kleine Luftblasen K_2, solange die Öffnung G_2 nicht wieder durch das Quecksilber abgeschlossen ist, keine erhebliche Druckverminderung erfahren und daher nicht aufsteigen können, so daß dieselben nicht in den auszupumpenden Raum zurückgelangen, sondern bei jeder Trommeldrehung durch die neu inzugeführte Luft vergrößert werden, bis sie die nötige Ausdehnung erreicht haben. Jetzt werden diese Luftblasen durch das durchströmende Quecksilber und infolge ihrer Schwimmfähigkeit in die Kammer B geführt. Es ist hieraus deutlich ersichtlich, daß die Luftverdünnung durch diese Pumpe eine recht vollkommene sein wird.

Bei der zweiten Ausführungsform (Fig. 131 *5—7*) ist in der schräg gestellten Trommel C nur ein Kanal F vorgesehen, welcher durch die obere Öffnung G die über der Flüssigkeitsfläche in A befindliche Luft aufnimmt und sie schneckenförmig durch die Trommel hindurch nach der unteren Austrittsöffnung H führt, aus welcher dieselbe in die durch Rohr E mit einer gewöhnlichen Luftpumpe verbundene Kammer B gelangt (Fig. 131 *5* und *6*).

Um die nötige Verengung herbeizuführen und gleichzeitig bei großer Luftaufnahme durch den Kanal einer möglichst geringen Quecksilbermenge zu bedürfen, zieht sich der Kanal F

um einen vollen kegelförmigen Körper C_1 herum, welcher am oberen Trommelende, also an der Stelle des Lufteintrittes in den Kanal *F*, einen geringen Durchmesser hat, während derselbe nach unten hin zunimmt, so daß ein enger Durchgang für das Quecksilber geschaffen wird und eine möglichst geringe Menge desselben zur Füllung der Pumpe erforderlich ist. Der Mantel *Z* und die Kappe *X* der vorher beschriebenen Pumpe haben in diesem Falle eine im allgemeinen zylindrische Form erhalten, sind aber zur Aufnahme des Rohres *D* mit einer seitlichen Ausbauchung *R* (Fig. 131 *6*) versehen. Die Wirkung dieser Pumpe ist genau die gleiche, wie sie in der ersten Modifikation beschrieben worden ist.

Eine andere Quecksilberrotationspumpe mit Flügelrad rührt her von Friedrich de Mare[1]) in Brüssel. Wie aus der Figur 132 *1—3* ersichtlich, ist das Kennzeichen dieser Pumpe hauptsächlich darin zu suchen, daß die Pumpe zu gleicher Zeit das Quecksilberreservoir bildet und auf diese Weise stets betriebsfähig ist. Auf der Zeichnung ist diese Pumpe dargestellt, und zwar zeigt *1*) einen senkrechten Schnitt durch die Mitte der Pumpe mit dem dazu gehörigen elektrischen Motor in Ansicht, *2*) die Vorderansicht der Pumpe, wobei angenommen ist, daß der vordere Deckel weggenommen ist, und *3*) den Grundriß der Pumpe.

Diese Pumpe besitzt im allgemeinen die Form der bekannten Zentrifugalpumpe. Die nach einer Kreisevolvente gebogenen Flügel *1* der Welle *2* sind aus Nickel angefertigt, ebenso wie die Welle, auf der sie befestigt sind. Die Kapsel, in welcher die Flügel rotieren, ist auf der einen Seite kugelkappenförmig ausgestaltet, auf der anderen eben. Mit dieser Kapsel zusammen aus einem Stück gegossen ist der Behälter *3*, welcher mit der Kapsel durch die Öffnung *4* in der Weise in Verbindung steht, daß das in letztere eintretende Quecksilber die Stelle der Pumpe umspült und so eine gewisse Schmierung derselben hervorbringt. Das Quecksilber wird durch die Bewegung der Flügel in den seitlich mit der Kapsel in Verbindung stehenden, nach einer bestimmten Kurve gekrümmten Kanal *5* gedrückt, an den sich dann das eigentliche Steigrohr anschließt. Das Quecksilber gelangt in das Reservoir durch einen nach dem Boden desselben führenden Kanal *6*, so daß also der Austritt des Quecksilbers sowie

[1]) D.R.P. 123677 vom 5. September 1900.

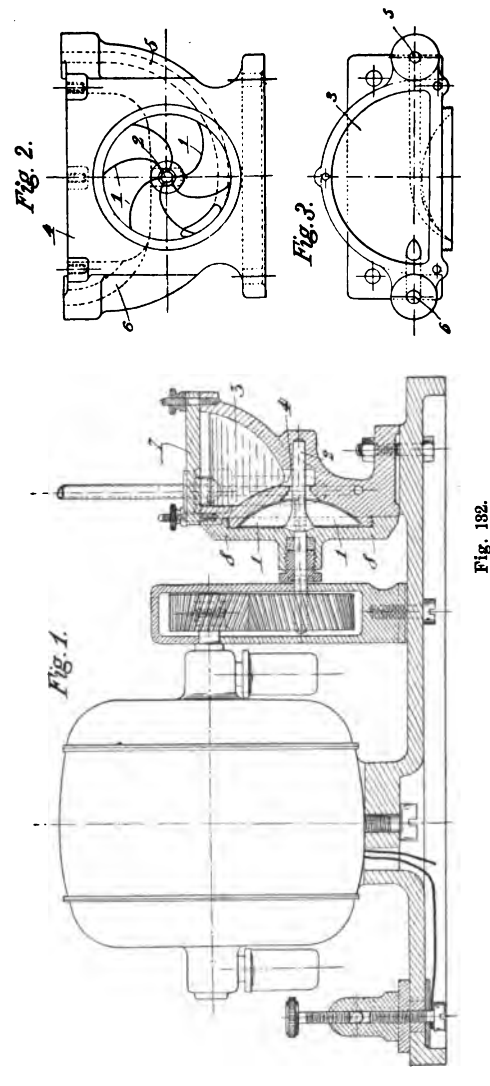


Fig. 132.

auch der Eintritt desselben in den Behälter unter vollständigem Luftabschluß stattfindet. Der Behälter *3* ist auf seiner oberen Fläche durch eine Glasplatte *7* geschlossen, welche erlaubt, die Tätigkeit der Pumpe zu beobachten. Die Welle der Pumpe ist auf der einen Seite in dem Gußkörper gelagert und tritt auf der anderen durch eine in dem flachen Deckel *8* angeordnete Stopfbüchse aus. Auf ihrem Ende ist das eine Antriebsrad aufgekeilt, welches seine Drehung von einem Elektromotor empfängt. Um einen ruhigen Gang zu erzielen, sind die Zahnradübersetzungen in eine Kapsel eingeschlossen. Ganz besonders günstige Wirkungen werden erzielt, wenn die Rotierung etwa 600 Umdrehungen in der Minute erreicht.

Der M a r e - Pumpe sehr ähnliche Konstruktionen weisen die rotierenden Quecksilberpumpen von Gebrüder P i n t s c h und der „Radium“-Gesellschaft (Wipperfürth) auf. Es ist nun be-

kannt, daß diese Schaufelräderpumpen sehr schlecht wirken, wenn nicht die Schaufeln, die aus Metall bestehen und deshalb lufthaltige Poren besitzen, in irgendeiner Weise abgedichtet werden. Dieses Abdichten geschieht in der Regel derart, daß die Schaufeln in flüssig gemachtes Erdwachs eingetaucht wurden, so daß nach dem Erkalten die Schaufeln mit einer dichten, luftundurchlässigen Schicht bedeckt sind, die außerdem wenig Neigung besitzt, das mit ihr in Berührung kommende Quecksilber zu verschmutzen.

Immerhin hat dieses Verfahren einmal den Mangel, daß die Poren der Schaufeln, die gewöhnlich gegossen sind, mit Luft gefüllt bleiben. Infolgedessen dringt das Erdwachs nicht in die Poren ein, sondern bedeckt nur die Oberfläche, was zur Entstehung von Undichtheiten Anlaß geben kann. Ein weiterer Übelstand ist der, daß das Erdwachs oder ähnliche Substanzen zu weich sind, um zu verhüten, daß der auf den Schaufeln gebildete Überzug in kurzer Zeit durch das Schlagen der Schaufeln in das Quecksilber zerstört und abgeschlagen wird, so daß infolge des Undichtwerdens alsbald ein neues Präparieren der Schaufeln mit Erdwachs erforderlich wird. Aus diesem Grunde hat die „Radium“-Elektrizitäts-Gesellschaft[1]) in Wipperfürth ein Verfahren ausgebildet, nach welchem die Schaufeln in einem evakuierten Behälter mit Lack imprägniert werden, der nach dem Herausnehmen nach besonderer Methode hart gebrannt wird. Vorteilhaft wird das Verfahren so ausgeführt, daß die Schaufelräder in einen geeigneten Behälter gebracht werden, der evakuiert wird, und in den dann der betreffende Lack unter diesem Vakuum eingeführt wird. Der Lack dringt dann beim Zulassen von Luft in die luftfreien Poren der Schaufeln ein, so daß nun eine vollständige Dichtheit erzielt wird, während durch das spätere Hartbrennen ein glas- bzw. emailleartiger harter Überzug entsteht, der eine recht große Dauerhaftigkeit besitzt.

Eine auf einem anderen Prinzip beruhende rotierende Quecksilberpumpe zum Evakuieren von Glühlampen benutzt die „Radium“-Elektrizitäts-Gesellschaft in Wipperfürth[2]). Diese Vakuumpumpe besteht im wesentlichen aus Zahnrädern, die in einem Gehäuse rotieren. Die Gestaltung des Zahnradgehäuses ist derart durchgeführt, daß der Mittelpunkt des

[1]) D.R.P. 182856 vom 4. Mai 1906.
[2]) D.R.P. 163240 vom 24. März 1903.

Bodens bis dicht an die Eingriffstelle der Zahnräder reicht, so daß kein toter Raum an der Aufsaugöffnung zwischen Eingriffstelle und Boden gelassen wird.

Diese Pumpe wird durch die Fig. 133 veranschaulicht, und zwar ist Fig. 133 *1* ein Vertikalschnitt nach Linie *C*—*D* von Fig. 133 *2*, und Fig. 133 *2* ein Vertikalschnitt nach Linie *A*—*B* in Fig. 133 *1*.

Es werden zweckmäßig in ähnlicher Weise, wie bei den schon beschriebenen doppelstiefeligen Kolbenpumpen, zwei Pumpen übereinander geordnet, die beide von einer Antrieb-

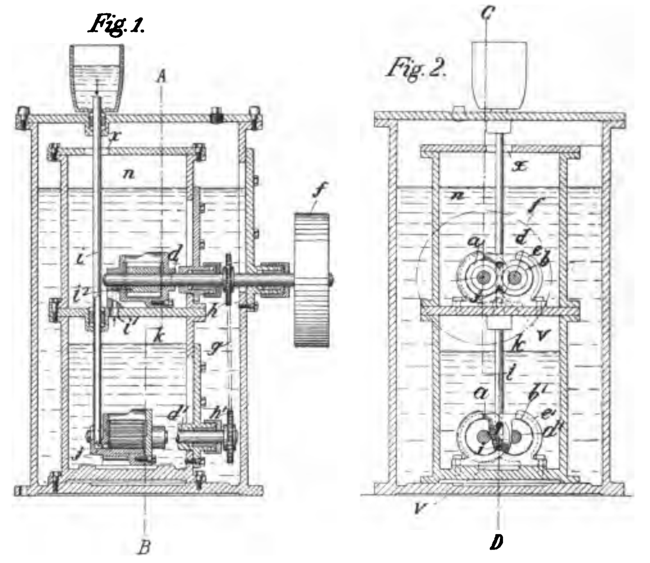


Fig. 133.

scheibe f aus vermittels Spindeln d d^1, Kettenrädern h h^1 und Kette g angetrieben werden. Diese Spindeln tragen Zahnräderpaare $a\,b$ bzw. $a^1\,b^1$, die in einem gehäuseartigen Lager e bzw. e^1 lagern. Die Mitte v des Bodens des Gehäuses e bzw. e^1 ist nun keilförmig gestaltet, derart, daß die Spitze desselben bis an die Eingriffstelle der Zahnräder reicht. An dieser Stelle wird die kleine Aussaugöffnung j angeordnet, so daß kein toter Raum zwischen der Eingriffstelle der Zahnräder und der Aussaugöffnung vorhanden ist.

Die Arbeitsweise der Vorrichtung ist folgende: Durch die Drehung der Zahnräder *a b* bzw. $a^1 b^1$ wird die Luft aus den Glühlampen durch das Rohr *i* gesaugt und gelangt schließlich in den oberen Teil des Unterbehälters *k*; von hier aus wird die Luft dann durch die Zahnräder *a b* durch die Öffnung i^1 und die Rohrmündung i^2 in den Oberbehälter *n* gesaugt, um schließlich durch die Öffnung *x* nach außen zu strömen.



Fig. 134 a.

Eine der neuesten rotierenden Quecksilberluftpumpe ist die von Dr. Gäde, Freiburg im Breisgau, deren Abbildungen (Fig. 134 a bis 134 d) mir von der Firma E. Seybolds Nachfolger, Köln, in liebenswürdiger Weise zur Benutzung überlassen worden ist. a ist die Ansicht, b eine halb geöffnete

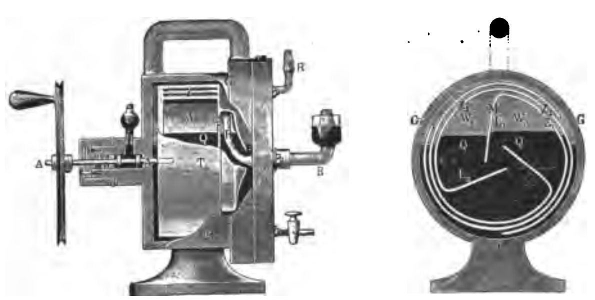


Fig. 134 b. Fig. 134 c.

Seitenansicht, c und d verschiedene Querschnitte der Pumpe. Wie aus den Figuren ersichtlich ist, besteht die Pumpe im allgemeinen aus einem äußeren Metallbehälter, in welchem luftdicht eingesetzt eine Porzellantrommel rotiert, die in ähn-

licher Weise wie die Barrsche Pumpe (Fig. 131) schaufelartig ausgebildet ist und auch in ähnlicher Weise das Evakuieren bewerkstelligt. Die Welle *a* (Fig. 134 d) wird mit den beiden gefetteten Lederscheiben *l* und den drei Teilen *s* der Stopfbüchse in das Gußeisengehäuse *G* eingesetzt. Die Schrauben *m* werden nun so stark angezogen, daß das bei *o* in die Stopfbüchse eingefüllte Quecksilber nicht in das vorevakuierte Gehäuse *G* eindringen kann. Die Porzellantrommel *T* sitzt auf der Welle *a* mit dem Gewinde a_1 so fest, daß sich die Trommel später beim Linksdrehen (beim Einlassen von Luft in den Rezipienten) nicht von selbst abschraubt. Zu beiden Seiten der Rinne *r* befinden sich die Gummidichtungsringe *g* und g_1. Die im Eisenring *P* gefaßte Glasscheibe *D* ist so aufgelegt, daß die Bohrung der Scheibe etwas nach unten gegen das Zentrum versetzt und mit sechs Schraubenbolzen auf die Gummiringe angepreßt ist. Der luftdichte Abschluß wird durch Eingießen von Quecksilber bei o^1 in die Rinne *r* erzielt. In die Öffnung der Glasscheibe ist das gebogene Rohr *R* eingesetzt. Die an demselben befindliche Stahlscheibe *S* wird mittels der Traverse *V* gegen die Glasscheibe gepreßt und eine Dichtung erzielt durch zwei konzentrische Gummiringe, die zwischen der Stahl- und der Glasscheibe liegen. Der zwischen den beiden Gummiringen befindliche Raum wird mit Quecksilber ausgefüllt, welches man durch die in der Stahlscheibe befindliche Öffnung *b* einführt. Beim Hahn *Q* wird so viel Quecksilber eingefüllt, daß die vordere Trommelöffnung *u* ca. 5 mm mit Quecksilber überdeckt ist, während im Gehäuse *G* ein Vorvakuum von 10—20 mm, in der Trommel ein hohes Vakuum besteht. Man füllt demnach zweckmäßig Quecksilber während des Betriebes ein. Zur Schmierung wird das Federgehäuse *s* mit säurefreiem Fett

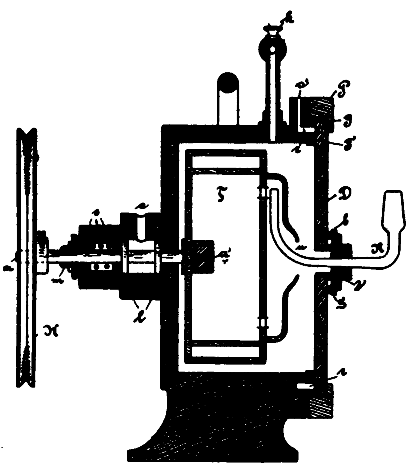


Fig. 134 d.

(Rindertalg, Vaseline usw.) vollgestrichen und vermieden, daß Schmieröl in die Pumpe gelangt, da sonst die auftretenden Öldämpfe das hohe Vakuum beeinträchtigen. Der Stahlhahn *h* führt zur Vorpumpe, und die Kordelschraube *k* dient dazu, nach Beendigung der Arbeit Luft in die Pumpe zu lassen. Zu diesem Zweck wird dieselbe langsam aufgedreht, da sonst der Lufteintritt zu rapid geschieht und die Porzellantrommel zertrümmert werden kann. Dies Zertrümmern der inneren Porzellantrommel ist ein sehr großer Übelstand der sonst ausgezeichneten Pumpe, da eine Beschädigung selbstredend auch eintreten kann, wenn z. B. während des Pumpens irgendeine Lampe undicht wird. Man geht deshalb jetzt mit der Absicht um, diese



Fig. 135.



Fig. 136.

Porzellantrommel zu ersetzen durch eine solche aus Metall, die, um das Verschmutzen des Quecksilbers zu vermeiden, mit einem entsprechenden Überzug versehen sein muß. Dieser Übelstand des leichten Zertrümmerns der Porzellantrommel ist in der Konstruktion einer rotierenden Quecksilberpumpe von Arthur Pfeiffer, Wetzlar, vollkommen vermieden dadurch, daß die Pumpe vollständig aus Stahl gebaut ist. Diese neue Pfeiffersche Pumpe, welche sich ganz hervorragend eignet zur Erzielung höchster Vakua in kürzester Zeit, verbindet demnach absolute Betriebssicherheit mit tadelloser Arbeitsweise und ist zum Evakuieren von Glühlampen aus diesem Grunde ganz besonders geeignet.

In ähnlicher Weise, wie die rotierenden Quecksilberluftpumpen, hat man auch rotierende Ölpumpen für hohe Vakua konstruiert. Ein Modell derselben zeigt uns Fig. 135, die von Max Kohl in Chemnitz in den Handel gebracht

wird. Mit dieser Pumpe kann man ohne Anwendung einer Vorpumpe ein Vakuum von etwa 0,1 mm Quecksilbersäule erreichen. Mit einer Vorpumpe, die ausreichend sein muß, um die ihr von der Hochvakuumpumpe zugeführte Luft wegzuschaffen, wird ein Vakuum von 0,003 mm Quecksilber in einem vollkommen trockenen Raume erzeugt. Als Vorpumpe kann z. B. eine Wasserluftpumpe dienen. Prof. Karl Th. Fischer in München erzielte bei Hintereinanderschaltung zweier dieser Pumpen in 14 Minuten in einem Raume von 300 ccm ein Vakuum von 0,00015 mm Quecksilbersäule, sicher ein Beweis, daß bei richtiger Anwendungsweise diese Pumpe ebenfalls für Kohlenfadenglühlampen mit Vorteil angewendet werden kann.

Pumpen mit fast gleicher Bauart baut ebenfalls Siemens und Halske, A.-G., Berlin, und Johannes Prigge-Augsburg-Lechhausen. Fig. 136 zeigt eine derartige rotierende Ölpumpe der letzteren Firma.

Zum Schluß soll noch eine Tabelle angeführt werden, aus der die mit den einzelnen Pumpensystemen erreichbaren Verdünnungsgrade zu ersehen sind.

Art der Pumpe	Beobachter	Minimum des erreichten Partialdruckes der Luft in Millimeter
Geißler-Pumpe, alte Konstruktion	Bessel-Hagen	0,11
Geißler-Pumpe, neu	Bessel-Hagen	0,0085
Kravogl's Pumpe	v. Waltenhofen	0,0316
Sprengel-Pumpe, 1 Fallrohr	Zehender	0,00051
Sprengel-Pumpe, 5 Fallröhren	Gimingham	0 000006
Sprengel-Gimingham-Pumpe	Crookes	0,000046
Sprengel-Gimingham-Pumpe, verbessert	Rood	0,0000069
Sprengel-Gimingham-Pumpe, nach Rood erhitzt	Rood	0,000002
Alte Töpler-Pumpe, nach 5 Hub	Bessel-Hagen	0,0075
Alte Töpler-Pumpe, nach 10 Hub	Bessel-Hagen	0,0064
Töpler-Pumpe, verbessert	Bessel-Hagen	0,000009
Rotierende Gäde-Pumpe, nach 10 Min.	—	0,00047
Rotierende Gäde-Pumpe, nach 15 Min.	—	0,000003
Geryk-Ölpumpe, Patent Fleuß	Pfeiffer	0,0002
Kohl-Pumpe, mit Ölrücklaufventil	—	0,0008
Pumpe nach Kaufmann	Kohl	0,001
Rotierende Ölpumpe nach Kohl	Fischer-München	0,00015

Zum Schluß dieser Abteilung soll nun noch kurz erwähnt werden, daß man das so oft erwähnte Vorvakuum, wie es zum Betrieb der meisten Systeme von Quecksilber- und rotierenden Pumpen notwendig, mit Hilfe besonders konstruierter großer Vakuumpumpen für sehr hohe Luftleere verwendet. Ausgezeichnete Konstruktionen derartiger Pumpen liefert die bekannte Maschinenfabrik von Wegelin & Hübner in Halle a. S., die mir die Zeichnungen für zwei verschiedene Modelle, Fig 137 a und b und Fig. 138 a, b und c (siehe beigefügte Tafel) zur Benutzung freundlichst überlassen hat. Die erstere der Pumpen (Fig. 137) ist eine solche für Riemenbetrieb, die letztere (Fig. 138) eine solche für direkten Dampfbetrieb. Diese Vakuumpumpen sind Schieberpumpen mit Ausgleich der schädlichen Räume, und es werden bei dieser Gattung von Pumpen immer zwei doppelt wirkende Zylinder miteinander verbunden. Handelt es sich darum, ein größeres Gefäß mit Zeitgewinn zu evakuieren, so können die beiden Zylinder anfänglich parallel geschaltet werden. Zum Schluß jedoch, wenn das Vakuum auf den höchsten erreichbaren Grad getrieben werden soll, muß immer die Hintereinanderschaltung der Zylinder stattfinden, in ähnlicher Weise, wie es bei der Pfeifferschen und Kohlschen Kolbenluftpumpe schon beschrieben worden ist. Unter „hoher Luftleere“ versteht man bei derartigen großen Pumpen etwa 0,2—0,5 mm Quecksilbersäule. Tatsächlich können bei den größeren Pumpen der Firma Wegelin & Hübner Unterschiede in der Höhe der Barometer-Quecksilbersäule und der von der Pumpe künstlich durch Ansaugen gehobenen Quecksilbersäule nicht mehr gemessen werden. Der erwähnte Ausgleich der schädlichen Räume wird durch eine sinnreiche Konstruktion des Luftverteilungsschiebers bewirkt, welche es ermöglicht, daß zur Zeit der annähernden Totpunktstellung des Kolbens die Räume hinter und vor dem Kolben miteinander kommunizieren, wodurch der Druckausgleich erfolgt. Annähernd in der Totpunktstellung des Kolbens, ehe der Druckausgleich beginnt, herrscht in dem kleineren Zylinderraum auf einer Seite des Kolbens die höchste Gasspannung, in dem größeren Raum auf der anderen Seite die niedrigste Spannung. Die Luft aus dem kleineren Raum tritt also nach dem größeren Raum über bis zum Spannungsausgleich. Die übergetretene Luft kann demnach nicht hinter dem Kolben expandieren, was geschehen müßte, wenn sie dort verbliebe; es tritt also vorher

einerseits die gewünschte Saugspannung, anderseits die notwendige Druckspannung ein.

Bei Anwendung nur eines Zylinders, also beim einstufigen Arbeiten, wäre es nicht möglich, die oben erwähnte erstaunliche Saugwirkung der Pumpe hervorzurufen; deshalb bedient man sich für alle die Fälle, wo ein möglichst hohes Vakuum erreicht werden soll, der Pumpen mit zwei Zylindern, von denen der eine aus dem zu evakuierenden Raum, der zweite von dem Druckraum des Schiebersystemes des ersten Zylinders absaugt. Es sei z. B. 0,5 mm Quecksilbersäule zu erreichen und es herrsche ein Barometerstand von 760 mm. Ohne Rücksicht auf Nebenhindernisse müßte dann die angesaugte Luft von 0,5 mm Druck auf das 1520fache ihrer ursprünglichen Spannung komprimiert werden, was praktisch mit einem Zylinder unerreichbar ist. Zweistufig wird das mit zwei Kompressionen von je 1 : 39 erreicht, denn $39 \cdot 39 = 1521$, und so ist es erklärlich, daß die Wegelin & Hübnerschen Vakuumpumpen das oben angeführte erstaunliche Resultat mit Leichtigkeit erzielen. Bemerkt sei hierbei noch, daß die beiden hintereinander arbeitenden Zylinder von genau gleicher Konstruktion sind.

Um nun die hubartigen Stöße der Pumpe in den auszupumpenden Gefäßen (z. B. zum Betrieb der Feinvakuumpumpen, zum Evakuieren größerer Rezipienten usw.) nicht allzu fühlbar zu machen, schaltet man vorteilhafterweise zwischen Vakuumpumpe und Arbeitsplatz einen entsprechend dimensionierten Vakuumkessel ein, der selbstverständlich ebenso wie die Rohrleitungen von Maschine zu Vakuumkessel und von diesem zum Arbeitsplatz absolut luftdicht hergestellt sein muß. Ähnliche Pumpen für große Ansaugefähigkeit liefert auch in bekannter Güte Arthur Pfeiffer, Wetzlar.

D. Die Evakuierarbeit.

Werden Quecksilberluftpumpen zum Entluften der Glühlampen verwendet, so gestaltet sich das Pumpverfahren im allgemeinen sehr einfach. Zuerst hat man dafür zu sorgen, daß die im Innern der Glasballons noch innewohnenden Feuchtigkeitsreste veranlaßt werden, möglichst leicht und sicher die Glocke zu verlassen. Dies wird am besten dadurch erreicht, daß die Lampen von außen künstlich durch geeignet angebrachte

kleine Gasflammen erhitzt werden. Um eine gut wirkende Oberhitze zu erreichen, ordnet man zweckmäßigerweise die Lampen in einem aus Eisenblech gefertigten und innen mit Asbest ausgekleideten Kasten an, der am unteren Ende die Brenner trägt, und der mit einer Deckelklappe verschließbar ist, welche zur Ermöglichung der Beobachtung der Lampen mit einer Glimmer- oder Glasscheibe versehen ist. Eine derartige Anwärmevorrichtung zeigt uns Fig. 139.

A ist der Eisenkasten, welcher mit dünnen Asbestscheiben ausgekleidet ist, *B* sind die Gasbrenner und *C* der mit einer durchsichtigen Scheibe versehene Deckel. Zur Erzielung einer geeigneten Temperatur von etwa 200 ° C ist es nur nötig, die Flämmchen auf eine Höhe von ca. 4—5 mm einzustellen.

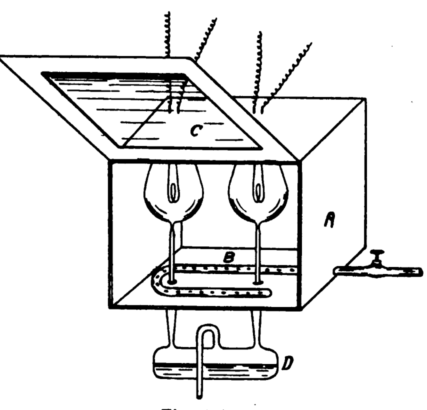


Fig. 139.

Dieses Anwärmen der Lampen von außen hat außer der erwähnten Entfernung der letzten Feuchtigkeitsreste noch einen weiteren sehr wichtigen Zweck. Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, daß die letzten Luftreste an den Wandungen der Glasbirne, am Fuße usw. derart fest haften, gewissermaßen daran kleben, daß sie sich ohne geeignete Hilfsmittel schlechterdings nicht wegbringen lassen. Das beste und sicherste Mittel, soweit es für Glühlampen in Betracht kommt, ist nun das Anheizen von außen. Die Luftbläschen werden durch die Wärme zu einer Volumenvergrößerung gezwungen und lösen sich nun leichter von den Wandungen ab.

Um nun zu verhüten, daß die fortgehende Feuchtigkeit mit dem Quecksilber der Pumpe in Berührung kommt und dort Veranlassung gibt zur Verunreinigung derselben, ist es nötig, dieselbe vorher unschädlich zu machen. Zu diesem Zwecke schaltet man zwischen Lampe und Pumpe ein Absorptionsgefäß ein, welches mit einer wasseraufnehmenden Substanz gefüllt ist. Früher wurde hierzu konzentrierte Schwefelsäure benutzt, jetzt

nur noch ohne Ausnahme pulverförmiges Phosphorsäureanhydrid (Acidum phosphoricum anhydricum, P_2O_5). In Fig. 139 *D* ist ein derartiges mit Phosphorsäureanhydrid gefülltes Gefäß angegeben, welches mit „Phosphorkessel" bezeichnet wird. Dieses Phosphorsäureanhydrid wird nach längerem Gebrauch durch kräftige Aufnahme von Wasserdämpfen zu Phosphorsäure umgewandelt, verliert hierbei zum großen Teil die gewünschte Wirkung und muß durch neue Substanz ersetzt werden. Beim Reinigen der Phosphorkessel ist übrigens einige Vorsicht anzuwenden, da die Verbindung des Phosphorsäureanhydrids mit Wasser unter heftiger Wärmeentwicklung vor sich geht.

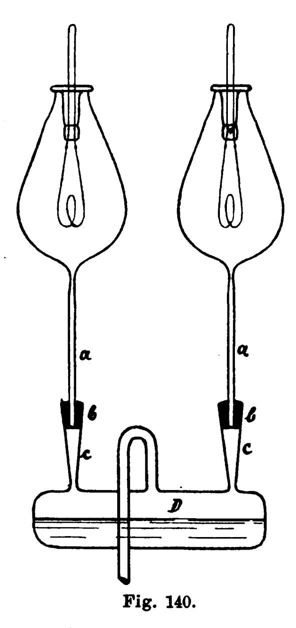


Fig. 140.

Um die luftdichte Verbindung zwischen den Pumprohren *a* der Lampen und den Trichterrohren *c* des Phosphorkessels *D* (Fig. 140) zu bewerkstelligen, werden über die Enden der Pumprohre kurze Stückchen dickwandigen Paragummischlauches geschoben, die zur besseren Abdichtung und zur bequemeren Ein- und Ausführung noch mit einem geeigneten Schmiermittel angefeuchtet sein können. Sehr gut eignen sich hierzu z. B. Vaseline, Glyzerin usw., die natürlich nur in sehr geringen Mengen zur Verwendung gelangen.

Der Pumpenvorgang ist nun folgender: Nachdem die Lampe mit der Pumpleitung in dichte Verbindung gebracht worden ist, werden die Heizflämmchen angezündet und nun so lange gewartet, bis die Pumpe gutes Vakuum gezogen hat. Bei Verwendung der Sprengel-Pumpe erkennt man das Vakuum, wie schon früher erwähnt, daran, daß keine Luftbläschen mehr mit dem Quecksilber durch die Fallröhren gerissen werden. Bei Anwendung anderer Pumpenarten ist es deshalb notwendig, Vakuummeter zwischenzuschalten, um das Fortschreiten des Vakuums sicher zu erkennen. Diese Meßinstrumente werden in der nächsten Abteilung dieses Abschnittes beschrieben werden. Hierauf wird Strom durch die Lampe geschickt derart, daß der Kohlenfaden dunkelglüht. Sofort wird

wieder eine Gasentwicklung auftreten, die ihre Ursache darin hat, daß die am Kohlenfaden haftenden Luftteilchen abgestoßen werden und die Temperatur in der Lampe erhöht wird. Nach kurzen Intervallen wird der Stromdurchgang allmählich verstärkt, bis man die normale Spannung in der Lampe erreicht hat. Hierauf wird für einige Sekunden der Strom in der Lampe derart gesteigert, daß der Faden weißglühend wird und eine Überbelastung von etwa 10 bis 15 % erhält. Ist dieser Punkt

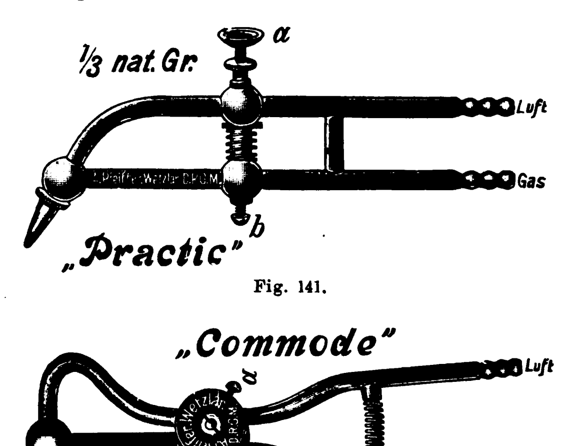


Fig. 141.

Fig. 142.

erreicht, so schaltet man den Strom und die Heizflammen aus und läßt erkalten bei fortwährendem Pumpen.

Nach einem anderen Verfahren wird nach jedesmaliger Steigerung des elektrischen Stromes derselbe vollständig ausgeschaltet, um den abgestoßenen Luftteilchen oder den aus dem Kittknoten austretenden Kohlenwasserstoffen genügend Zeit zu lassen, weggesaugt zu werden, ohne den glühenden Kohlenfaden anzugreifen.

Schließlich werden die Lampen „abgestochen", d. h. vermittels eines kleinen Stichflammengebläses werden sie an der Verengung des Pumpstengels dicht am Ballon zugeschmolzen, so daß eine Spitze entsteht und so die Lampe vom Pump-

rohr getrennt wird. Zur Ausführung dieser sehr vorsichtig vorzunehmenden Arbeit bedient man sich der in Fig. 141 und 142 dargestellten kleinen von Arthur Pfeiffer in Wetzlar fabrizierten Handgebläse. Fig. 141 zeigt uns ein sogenanntes Schiebergebläse (Praktik), welches aus den beiden miteinander fest verbundenen Zuleitungsröhren für Gas und Druckluft besteht, welche beide in der Gebläsedüse endigen. Über die beiden Rohre sind Gummischläuche geschoben, so daß man bei genügender Länge derselben mit dem Gebläse bequem an verschiedenen Stellen arbeiten kann. Die Regulierung und Feineinstellung der Gebläseflamme erfolgt durch Fingerdruck auf den Taster *a*, während durch die Schraube *b* die Menge des zugeführten Leuchtgases reguliert wird. Ist der Taster mit Schieber in der geeigneten Endstellung, so ist die Luftzufuhr ganz abgeschnitten, während nur eine geringe Menge des Gases der Düse entströmt und so eine kleine Lockflamme bildet.

Fig. 142 stellt ein Scherengebläse (Commode) dar, bei welchem die Zuführungsröhren um den Körper *abc* beweglich angebracht sind. Die Grobregulierung des Gases und der Druckluft erfolgt durch die Schrauben *a*, *b* und *c*, während die Feinregulierung der Flammen durch Zusammendrücken an der Feder *d* erfolgt durch Mehrzuführung von Druckluft.

Bei dem Abschmelzen der Lampen hat man nun gewisse Vorsichtsmaßregeln anzuwenden, um eine gute Schmelzspitze zu erzielen. Vorteilhaft ist es, die Verengung des Pumprohres mit dem Gebläse zuerst von allen Seiten anzuheizen und dann das Abschmelzen vorzunehmen. Auch beim Abschmelzen selbst sollte immer diese Vorsicht gebraucht werden, um keine einseitig eingezogene, sondern eine gleichmäßig schöne Spitze zu erzielen. Im übrigen ist es wohl selbstverständlich, daß die Abschmelzspitze schön rund abgestochen und jedes spitzenförmige Ausziehen vermieden wird, um ein sonst leichtes Abbrechen derselben zu vermeiden.

Um die Evakuierarbeit bei Anwendung von Sprengelpumpen in beinahe selbsttätiger Weise durchzuführen, hat Paul Scharf[1]) in Berlin den in Fig. 143 dargestellten Apparat konstruiert. Das Kennzeichen dieser Entlüftungsvorrichtung besteht darin, daß die auf derselben befindlichen Lampen sich nicht alle gleichzeitig in demselben Zustand der

---

[1]) D.R.P. 133740 vom 14. Juni 1901.

Entlüftung befinden, sondern nacheinander und in derselben Reihenfolge, wie sie auf die Pumpvorrichtung aufgesetzt wurden, gemäß ihrer jeweiligen Stellung auf derselben die einzelnen Stufen des Evakuierens durchmachen. Dies wird dadurch

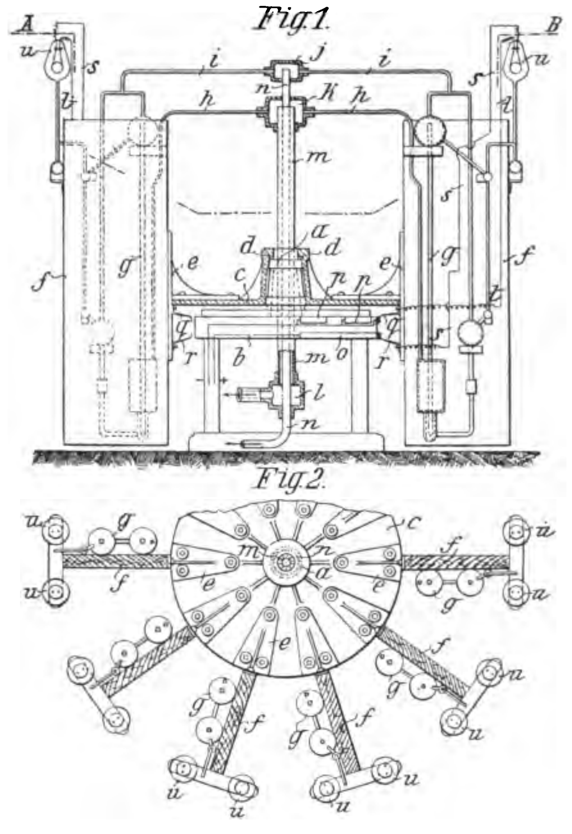


Fig. 143.

erreicht, daß die zu entlüftenden Glühlampen auf einem drehbaren Gestell angebracht werden, welches derart eingerichtet ist, daß die Lampen, solange sie sich auf dem Gestell befinden, fortwährend mit der Absaugevorrichtung in Verbindung stehen. Hierbei wird den Lampen, angefangen von einer

bestimmten Stellung, die von der Höhe des in denselben bereits erreichten Vakuums abhängt, der für eine vollkommene Entlüftung notwendige elektrische Strom zugeführt. Dies erfolgt durch entsprechend gestellte Schleifkontakte. Dabei wird in den aufeinander folgenden Stellungen die den Lampen zugeführte Strommenge in bekannter Weise allmählich gesteigert.

In der Zeichnung ist in Fig. 143 *1* und *2* diese drehbare Vorrichtung dargestellt. *a* ist der auf einem Holzuntersatz *b* festgeschraubte eiserne Drehzapfen, auf dem der ebenfalls gußeiserne scheibenförmige Drehtisch *c*, der auf Stahlkugeln *d* gelagert ist, drehbar aufsitzt. An dem Drehtisch sind mit Hilfe der eisernen Winkel *e* eine größere Anzahl Holzbretter *f* strahlenförmig festgeschraubt, auf welchen je eine Sprengel-Pumpe *g* angebracht ist. Das für die Inbetriebsetzung der Sprengel-Pumpen notwendige Maschinenvorvakuum bzw. die für das Heben des Quecksilbers erforderliche abwechselnde Verbindung derselben mit dem Vorvakuum und der äußeren Luft erfolgt durch Rohre *h*, *i*, die mit den Kammern *j*, *k* und *e* in Verbindung stehen. Die Kammern *j* und *k* drehen sich bei der Umdrehung des Tisches mit, während sie dabei durch die Rohre *m* und *n* mit der Kammer *e* bzw. dem Vorvakuum in Verbindung bleiben.

Am Umfange des Holzuntersatzes *b* sind Schleifenkontakte *o* und *p* derart angebracht, daß die Schleiffedern *q* und *r*, welche an jedem Pumpenbrett *f* isoliert befestigt sind und durch Leitungsdrähte *s* und *t* in beliebiger Weise mit den auf jeder Pumpe aufgesetzten Lampen *u* in Verbindung stehen, mit ihnen während der Drehung des Tisches der Reihe nach in Berührung kommen. Von den Schleifkontakten steht der eine gemeinschaftliche *o* mit dem einen Pol der Stromquelle in Verbindung, während die anderen *p* mit dem zweiten Pol so verbunden sind, daß durch Zwischenschalten von Widerständen die Klemmenspannung sich von Klemme zu Klemme ändert. Auf diese Weise kann während des Evakuierens die Spannung des den Lampen zugeführten Stromes in beliebig gewünschter Steigerung selbsttätig reguliert werden.

Die Vorrichtung wird absatzweise von Hand so gedreht, daß immer wieder eine neue Sprengel-Pumpe vor den die Pumpvorrichtung bedienenden Arbeiter zu stehen kommt. Die fertig evakuierten Lampen werden in der schon beschriebenen Weise mit Hilfe des Handgebläses von der Pumpe abgestochen und auf letztere zwei neue Lampen aufgesetzt,

worauf die ganze Vorrichtung um eine Pumpe weiter gedreht wird, so daß derselbe Vorgang, Abschmelzen und Neuaufsetzen der Lampen, immer von neuem beginnt. Die fortschreitende Entlüftung der Lampen findet während ihrer absatzweisen Bewegung auf dem Drehtisch ununterbrochen statt, wobei selbstverständlich die Dauer der ganzen Umdrehung unter Berücksichtigung der von dem Arbeiter benötigten Zeit für das Abstechen der fertigen und das Aufsetzen neuer Lampen so bemessen sein muß, daß die Lampen immer in genügend evakuiertem Zustande vor den Arbeiter gelangen.

Bei Verwendung von Ölpumpen gestaltet sich nun das Pumpen etwas schwieriger insofern, als man noch gezwungen ist, die allerletzten Luft- und Ölgasreste, welch letztere immer infolge der Dampfspannung des verwendeten Öles in den entlüfteten Lampen sich befinden, möglichst vollkommen zu entfernen. Diese Entfernung der schädlichen Gasreste geschieht nun vermittels der sogenannten chemischen Evakuierverfahren, bei welchen durch Eintreiben gewisser sehr reaktionsfähiger Substanzen in die glühenden Lampen die schädlichen Gase als feste unschädliche Körper niedergeschlagen werden und dadurch ein hohes Vakuum erzielt wird. Im folgenden sollen einige dieser Verfahren, soweit sie für die Lampentechnik in Betracht kommen, angeführt werden.

Die bekannteste und weitverbreitetste Methode, um mit Hilfe von Ölpumpen ein genügend hohes Vakuum in elektrischen Kohlenfadenglühlampen herzustellen, rührt her von Arturo Malignani[1]) in Udine (Italien). Nach Malignani überzieht man den Faden der Lampe mit einer dünnen Decke von leicht flüchtiger Kohle, wie z. B. von Ruß oder Pulver verbrannter organischer Substanzen. Diese fein verteilte Kohle bewirkt, sobald der Faden zum Glühen gebracht wird, im Innern der Lampe die Bildung eines blauen Dampfes in Gestalt blauer Strahlen, welcher nach und nach die ganze Birne erfüllt. Wenn man nun durch Erhitzen von Phosphor, Arsen, Schwefel oder Jod diese Körper in Dampfform in die Lampe eintreibt, so schlägt sich der vorhandene blaue Dampf in Verbindung mit diesen Substanzen auf der Oberfläche des Glases nieder, und es entsteht dabei ein vollständig luftleerer Raum. Dasselbe Resultat wird erzielt ohne Überkleidung des Glühfadens mit Kohlenpulver, indem man den blauen Dampf durch den Kohlen-

[1]) D.R.P. 82076 vom 11. Februar 1894.

faden selbst erzeugt. In diesem Falle ist es jedoch notwendig, den Kohlenfaden so weit durch Steigerung der elektrischen Energie zu erhitzen, daß die blaue Flamme von selbst erscheint.

Das Malignani-Verfahren wird heute etwa in folgender Weise ausgefürt: Trockner, amorpher, roter Phosphor wird mit reinem Alkohol zu einer Paste verrieben und von dieser Paste eine gewisse geringe Menge in den Pumpstengel eingeführt. Nachdem die so präparierte Lampe auf die Pumpe aufgesetzt worden ist, wird die letztere in Tätigkeit gesetzt und so weit leer gepumpt, bis etwa ein Druck von ca. 0,1 mm Quecksilbersäule erzielt worden ist. Bei den beschriebenen Kolbenölpumpen wird dieser Punkt in etwa 20—30 Sekunden erreicht. Hierauf wird Strom eingeschaltet für einige Sekunden, der Strom ausgeschaltet und die noch freigemachten Gase ausgepumpt. Nach etwa 5—6 Sekunden wird nun das Pumprohr unterhalb der Stelle, an welcher der eingeführte Phosphor sich befindet, abgeschmolzen und nun der Strom in der Lampe so weit verstärkt, bis die blauen Flämmchen auftreten und infolge des Stromüberganges die Nickelelektroden zum Glühen gelangen. Ohne daß man nun die Spannung ändert, breitet sich nach kurzer Zeit die aufgetretene blaue Flamme nach oben aus und geht unter gleichzeitiger Abkühlung der Zuleitungsdrähte von einer tief dunkelblauen Farbe in ein schönes Hellblau über. Sobald dies eingetreten ist, wird der im zugeschmolzenen Pumprohr befindliche Phosphor mittels eines geeigneten kleinen Stichgebläses zum Verdampfen gebracht, wobei die nach der Birne wandernden Phosphordämpfe nun ein Niederschlagen aller schädlichen Gase bewirken. Die Lampe wird nun noch an der Verengung des Pumprohres zur Spitze abgeschmolzen und ist nun fertig. Selbstverständlich gehört ein gewisses Schätzungsvermögen dazu, die richtige Menge Phosphor im günstigsten Moment zu verdampfen, ebenso den richtigen Grad und die richtige Dauer der Erhitzung zu wählen. Dies bietet jedoch beim Anlernen der Arbeiterinnen nur geringe Schwierigkeiten, zumal da sehr bald an der Färbung der Lampe das fortschreitende Vakuum erkannt werden kann.

An Stelle des gewöhnlichen amorphen roten Phosphors läßt sich mit Vorteil der sogenannte hellrote Schenksche Phosphor anwenden. Dieser Körper ist eine Lösung von Phosphortribromid (PBr_3) in amorphem Phosphor und besitzt eine viel intensivere Wirkung als der gewöhnliche Phosphor. Diese intensive Wirkung ist wohl darauf zurückzuführen, daß

in ähnlicher Weise wie bei dem Präparieren der Kohlenfäden in einer Kohlenwasserstoffatmosphäre (Zerlegung des Kohlenwasserstoffes in seine Bestandteile, Kohlenstoff und Wasserstoff) das Phosphortribromid in Phosphor und Brom zerlegt wird. und daß diese Körper nun im statu nascendi eine bedeutend kräftigere Oxydations- und Absorptionswirkung ausüben als der amorphe Phosphor für sich allein.

Ohne weiteres geht jedoch hieraus hervor, daß, wenn auch nicht in so hohem Grade wie beim Evakuieren mit den Quecksilberpumpen, durch die notwendige starke Überspannung der Kohlenfäden (bisweilen bis zu 60 % der normalen Spannung) die letzteren darunter leiden und die Lebensdauer der Lampe um einen gewissen Betrag vermindert werden kann. Man war deshalb bestrebt, Mittel und Wege ausfindig zu machen, um dieses Überspannen ganz oder teilweise zu vermeiden, also Körper in die Lampe einzuführen, die geeignet sind, sich bei viel niedrigerer Temperatur mit den schädlichen Gasen zu vereinigen, als es beim Phosphor der Fall war. Eines dieser Verfahren rührt her von Hermann Remané[1]) in Charlottenburg. Zunächst verfährt man in der bekannten Weise, daß mittels der Ölpumpe das höchst erreichbare Vakuum in der Lampe erzielt wird. Alsdann spült man die in der Lampe enthaltenen Gasreste durch reinen Stickstoff aus, verschmilzt die Lampe und schickt Strom durch den Kohlenfaden. Infolge des Erglühens des Fadens verbindet sich die Kohle desselben mit dem Stickstoff zu Cyan, welches beim weiteren Erhitzen in Paracyan übergeht. Das Paracyan, ein fester Körper, schlägt sich an der Glaswand der Birne nieder. Der Stickstoff verbindet sich hierbei mit der Kohle restlos zu Paracyan, so daß nach einigen Sekunden die Lampe ein außerordentlich hohes Vakuum erhält.

Bei Erzielung guter Erfolge ohne Schädigung des Kohlenfadens hat man darauf zu achten, daß der größte Teil des zum Waschen benutzten Stickstoffes vor dem Abschmelzen der Lampe wieder ausgepumpt wird, um die Bildung großer Mengen von Paracyan zu vermeiden, die sonst in deutlicher Weise die Birne bräunen würden. Außerdem würde sonst die Präparierschicht des Glühfadens infolge Verbrauches von Kohlenstoff leiden und damit der Anlaß gegeben werden zur Verkürzung der Lebensdauer der Lampe.

[1] D.R.P. 150663 vom 2. August 1901.

Ebenso hat man versucht, die verschiedenartigsten organischen Substanzen zur Erzielung hoher Vakua dienstbar zu machen. So verwendet z. B. Paul Scharf[1]) in Berlin Körper der Pyridin- und Chinolingruppe, weiter kondensierte Chinoline, Phenantridin, Naphtyridin, Anthrapyridin und Acridin. Die praktische Durchführung dieser Methode erfolgt in der Weise, daß man die Dämpfe in die Lampen einführt und nun den Faden zum Glühen erhitzt.

Weiter werden in neuer Zeit metallorganische Verbindungen verwendet, wie z. B. Jod- und Bromäthyl, weiter noch Anthracen und Anilin. Erwähnenswert sei nur noch, daß man auch durch Eintreiben von Natrium- und Kaliumdämpfen die schädlichen Gase absorbieren wollte, ebenso daß man das Frederick Soddysche[2]) Verfahren, Absorption von Gasen vermittels erhitzten Kalziummetalles, angewendet hat, allerdings ohne nennenswerte praktische Erfolge. Nach Soddy werden z. B. die Glühlampen evakuiert, ein Stück Kalziummetall in die Lampe in geeigneter Weise eingeführt und die Birne mit reiner trockener Kohlensäure gefüllt. Nach dem Abschmelzen der Lampe wird das Kalzium stark erhitzt, wobei die gesamte Kohlensäure an das Kalzium gebunden wird.

E. Das Messen des Vakuums und die Untersuchung der evakuierten Lampen auf gutes Vakuum und gute Beschaffenheit.

Während bei den gewöhnlichen Quecksilberpumpen und den Sprengelpumpen ohne weiteres das erzielte Vakuum festgestellt wird dadurch, daß die Menge der in Gestalt von Luftbläschen ausgepumpten Luft immer kleiner und kleiner wird, läßt sich das Fortschreiten des Vakuums bei Verwendung der Maschinenkolbenpumpen, der rotierenden Öl- und Quecksilberpumpen nicht ohne weiteres erkennen; vielmehr sind hierzu Instrumente nötig, die selbstverständlich zwischen Pumpe und Lampe eingeschaltet werden müssen.

Eins der besten und doch schon lange bekannten Vakuummeßinstrumente zum genauen Messen sehr hoher Verdünnungsgrade ist das Vakuummeter nach Mc. Leod[3]), von welchem

---

[1]) D.R.P. 143500 vom 17. März 1901.
[2]) D.R.P. 179526 vom 20. März 1906.
[3]) Zeitschrift für phys. u. chem. Unterricht 1904, Heft 3, S. 154. — Zeitschrift für Instrumentenkunde 15, S. 191.

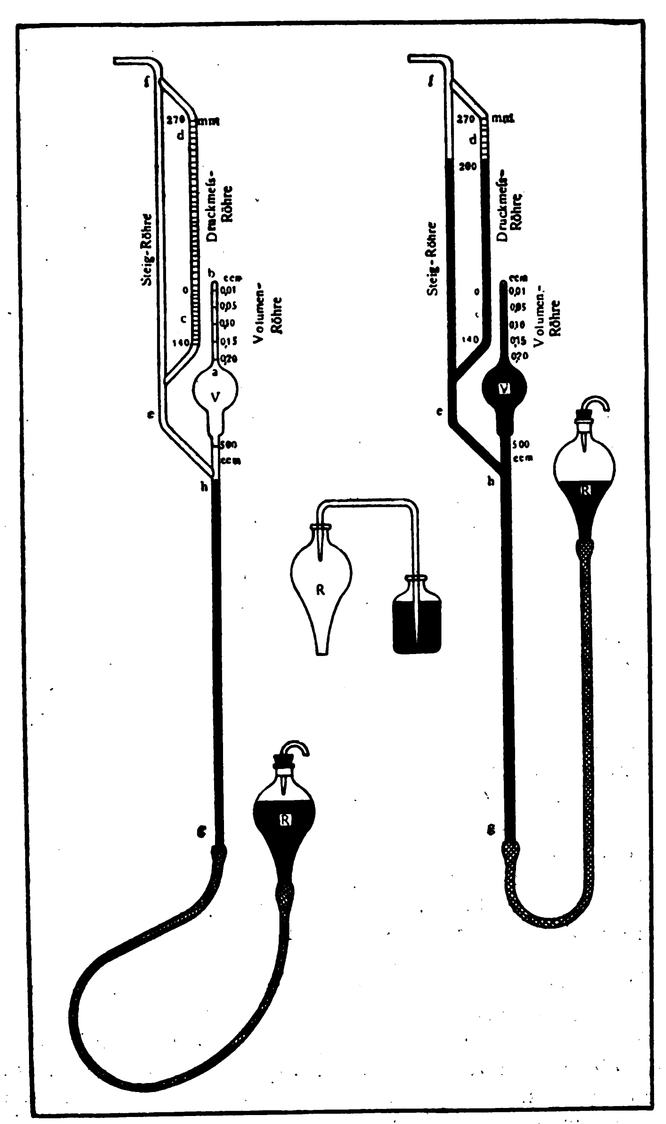

f
270
mm
d
Steig-Röhre
Druckmess-Röhre
0
c
140
ccm
0,01
0,05
0,10
0,15
0,20
a
V
Volumen-Röhre
e
500
ccm
h
R
g
200

Fig. 144.

Fig. 144 eine schematische Darstellung und Fig. 115 eine Ansicht des ganzen Apparates zeigt. Eine Glaskugel V trägt oben eine aufgeschmolzene enge Röhre ab, die sogenannte Volumenröhre. Nach unten setzt sich die Glaskugel in eine weite Glasröhre gh von etwa 900 mm Länge fort, welche durch einen Schlauch mit einer zum Heben und Senken eingerichteten Glaskugel R verbunden ist. R wird zu zwei Drittel mit Quecksilber gefüllt. An die Glasröhre gh ist unterhalb der Kugel V die Steigröhre ef angeschmolzen. Von dem Steigrohr ef zweigt sich das Druckmeßrohr cd ab. Dieses ist zur Vermeidung von Kapillaritätsfehlern aus demselben Stück Rohr angefertigt wie die Volumenröhre ab, hat also denselben Durchmesser wie diese.

Die Kugel V trägt unterhalb eine Marke und hat von dort an einen Inhalt von 500 ccm, die Volumenröhre ab ist kalibriert, und zwar von 0,002 ccm bis 0,2 ccm in 0,002 ccm geteilt. Dem Teilstrich 0,01 ccm entspricht auf dem Druckmeßrohr cd der O-Punkt, von dem an p gezählt wird. Die Teilung auf cd ist eine Millimeterteilung und geht von O an 270 mm weit nach oben und 140 mm weit nach unten. Bei f wird das Vakuummeter an die Luftpumpe angeschlossen. Pumpt man, während die Kugel R in ihrer untersten Stellung steht, die Luft aus dem Vakuummeter und hebt darauf R, so steigt das Quecksilber in gh auf. Wenn es an der Stelle angekommen ist, wo sich das Steigrohr ef von gh abzweigt, sperrt das aufsteigende Quecksilber den in V und ab enthaltenen Luftrest ab. V füllt sich nun vollständig mit Quecksilber, der Luftrest wird in die Volumenröhre ab gedrängt und dort gemessen. Durch Heben oder Senken der Kugel R kann man die Luft in ab mehr oder weniger komprimieren. Wenn man die Luft in ab bis auf 0,01 ccm zusammenpreßt, so liest man am Druckmeßrohr den Druck in ab direkt in 50 000^{stel} mm ab, da 0,01 ccm der 50 000ste Teil von 500 ccm, d. i. des Inhaltes der Kugel V, ist. Steht also das Quecksilber im Druckmeßrohr auf 250 mm, so hat man eine Verdünnung von $\frac{250}{50000}$ mm $= \frac{1}{200}$ mm erzielt.

Bei weitergehenden Verdünnungen drückt man auf 0,005 ccm zusammen und liest den Druck am Druckmeßrohr in 100 000^{stel} mm ab. Der abgelesene Druck bedarf in diesem Falle einer Korrektur, da der Nullpunkt auf dem Druckmeßrohr cd nicht mit dem Teilstrich 0,005 auf der Volumenröhre ab übereinstimmt. (In Wahrheit ist der Teilstrich 0,005 auf der Volumenröhre gar nicht vorhanden, sondern nur die benach-

barten Teilstriche 0,004 und 0,006 ccm. Die Einstellung auf 0,005 läßt sich aber sehr leicht durch Abschätzung vornehmen.)

Um die Korrektur vorzunehmen, ermittelt man, wieviel Millimeter auf dem Druckmeßrohr ein Teilstrich der Skala auf der Volumenröhre entspricht. Die gefundene Zahl muß man mit der Anzahl der Teilstriche über 0,01 auf der Volumenröhre multiplizieren und von dem an der Druckmeßröhre abgelesenen Druck subtrahieren. Bei dem beschriebenen Instrument (gebaut von M a x K o h l, Chemnitz) entspricht ein Skalenteil auf der Volumenröhre (0,002 ccm) 1,2 mm auf der Druckmeßröhre. Wenn man also auf 0,005 ccm zusammengedrückt hat, so muß man 2,5 Skalenteile mit 1,2 multiplizieren und die erhaltene Zahl 3 von dem auf dem Druckmeßrohr abgelesenen Druck subtrahieren.

Hat man dagegen bei sehr mäßigen Verdünnungen nur 0,1 ccm komprimiert, so muß dem am Druckmeßrohr abgelesenen Drucke $45 \times 1{,}2 = 54$ mm zugezählt werden, um den richtigen Druck zu erhalten. Wenn man nur auf 0,1 ccm zusammengedrückt hat, so liest man den Druck in 5000stel mm ab.

Die folgende Tabelle gibt für dieses Instrument an, in welchen Bruchteilen des Millimeters man die Ablesungen erhält.

Drückt	man	bis	0,002	ccm	zusammen,	so	liest	man	250 000stel	mm	ab,
„	„	„	0,004	„	„	„	„	„	125 000	„	„ „
„	„	„	0,005	„	„	„	„	„	100 000	„	„ „
„	„	„	0,006	„	„	„	„	„	83 300	„	„ „
„	„	„	0,008	„	„	„	„	„	62 500	„	„ „
„	„	„	0,01	„	„	„	„	„	50 000	„	„ „
„	„	„	0,02	„	„	„	„	„	25 000	„	„ „
„	„	„	0,05	„	„	„	„	„	10 000	„	„ „
„	„	„	0,10	„	„	„	„	„	5 000	„	„ „
„	„	„	0,20	„	„	„	„	„	2 500	„	„ „

Man kann mithin mit dem Vakuummeter Verdünnungen in weiten Grenzen messen, und zwar von

$$\text{ca. } \tfrac{1}{6} \left(\tfrac{400}{2500}\right) \text{ mm bis } \tfrac{1}{250000} \text{ mm.}$$

Beim Füllen dieses Vakuummeters wird die Kugel *R* mittels eines Kautschukstopfens luftdicht verschlossen. Der Stopfen trägt ein U-förmig gebogenes, beiderseits zur Kapillare ausgezogenes Glasrohr, dessen offener, kurzer Schenkel nur bis in den Hals des Reservoirs reicht, während der längere, nach außen führende Schenkel zugeschmolzen ist. Das an die Luftpumpe angeschmolzene Vakuummeter wird nun so weit wie möglich leer gepumpt und dann das vorher angewärmte kapillare Ende des äußeren Schenkels des *N*-Rohres durch Eintauchen

in das kalte, zur Füllung des Apparates dienende Quecksilber abgesprengt. Das Quecksilber steigt auf und fällt durch die anderere Kapillare der *N*-Röhre als feiner Regen in das Reservoir, gibt dabei noch die letzten Spuren etwa mitgeführter Luft ab und legt sich, vollkommen luftdicht, fest an die dicken Wandungen des Verbindungsschlauches an.

Ist fast die ganze Menge des benötigten Quecksilbers (ca. 7 kg) in das Reservoir gelangt, so wird der Schlauch zugeklemmt, damit bei Eintritt der Luft (die Kugel *R* ist ja noch luftleer) das Quecksilber nicht zu schnell in dem Barometer aufsteigt. Vorsichtiges Öffnen der Klemme reguliert später das Emporsteigen des Quecksilbers.

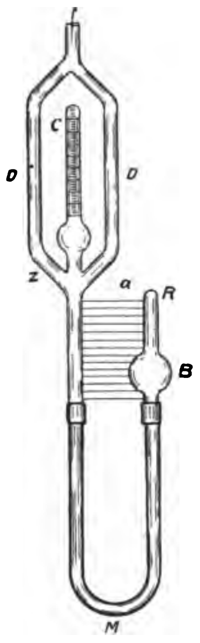


Fig. 145.

Da der Gebrauch dieses ziemlich langen Instrumentes sehr oft störend wirken kann, hat Arthur Pfeiffer, Wetzlar, ein verkürztes Vakuummeter nach Mc. Leod konstruiert, ähnlich einer Barometerprobe. Kurz unterhalb des Meßsystems (Fig. 145) wird der Schlauch angesetzt, und das Gefäß bei *B* läuft oben in ein kurzes geschlossenes Rohr *R* aus. Gefäß und Rohr sind mit Quecksilber gefüllt, ebenso ein Teil des Schlauches. Wird nun evakuiert, so wirkt zunächst der Teil *ZMR* als Barometerprobe, und die mäßigen Verdünnungen lassen sich an der Skala *aa* in Millimeter direkt ablesen. Sollen geringere Drucke gemessen werden, so hebt man das Gefäß *R*, und die Messung wird auf dieselbe Weise wie vorhin im unverkürzten Vakuummeter ausgeführt.

Man kann aber auch den Höhenunterschied der Quecksilbersäulen *R* und *C* zur Berechnung des Verdünnungsgrades verwenden. Dies hat den Vorteil, daß diese Differenz wirklich dem Druckunterschied entspricht. Mißt man nämlich in *DD* die Höhendifferenz gegen *C*, so fällt diese zu klein aus, da auf dem Quecksilber in *D* noch der zu messende Druck lastet. Natürlich kann ohne jedes praktische Bedenken dieses letztere Verfahren angewandt werden. Dieser Vorzug des abgekürzten Vakuummeters wird neben seiner viel größeren Handlichkeit und der Tatsache, daß es auch als Barometerprobe wirkt, vielfach vor dem erst beschriebenen Instrument vorgezogen.

Die Volumenteilung der Kapillaren ist derart, daß ein Kapillarteilstrich $\frac{1}{10000}$ des Kugelvolumens, von der Gabelung an gemessen, beträgt. Demnach ist der zu messendeDruck, ohne irgendeine Korrektion, gleich

$$\frac{\text{komprimiertes Volumen} \times \text{Überdruck}}{10000}.$$

Hierbei ist zu bemerken, daß die Messungen selbstverständlich nur richtig sind, so lange Druck × Volumen konstant bleiben. Dies ist aber bei den in Betracht kommenden zur Messung verwendeten Drucken, da man doch immer mit einigen Millimetern Überdruck im Steigrohr arbeitet, der Fall.

In neuerer Zeit hat man nun andere Vakuummeßverfahren ausgearbeitet, um die Mc. Leodsche Probe zu ersetzen, welche durch die Verwendung von Quecksilber in sanitärer Hinsicht nicht ganz einwandfrei ist und immerhin in der Bedienungsweise etwas schwerfällig zu handhaben ist. So verwendet man jetzt häufig eine der Röntgenröhre ähnliche Einrichtung, welche zwischen Lampe und Pumpe eingeschaltet wird, und in welcher durch den elektrischen Funkenübergang die bekannten Erscheinungen des erzielten Lichtes hervorgerufen werden. Je nach der weiter fortschreitenden Luftverdünnung erhält man hierbei der Reihenfolge nach:

ca. 40	mm Druck:	leuchtender Faden nach de la Rive;
„ 10	„ „	der leuchtende Faden löst sich in Bändern auf;
„ 6	„ „	homogenes Licht der Geißler-Röhre;
„ 2	„ „	geschichtetes Licht;
„ 0,04	„ „	Auftreten der Kathodenstrahlen und des Teslalichtes;
„ 0,02	„ „	Glas fängt an, Fluoreszenz zu zeigen;
„ 0,01	„ „	Crookes Fluoreszenzlicht und Röntgenstrahlen;
„ 0 007	„ „	das farbige Licht in der Röhre verschwindet;
„ 0,0034	„ „	das grüne Leuchten der Wände wird schwächer;
„ 0.0018	„ „	das Leuchten wird noch schwächer;
„ 0,0006	„ „	das Leuchten wird immer schwächer, setzt zeitweise aus;
„ 0,0002	„ „	keine Spur von Leuchten mehr bemerkbar.

Weiter verwendet man auch die folgende thermoelektrische Methode zur Messung des Vakuums: In ein Gefäß, welches zwischen Lampe und Pumpe eingeschaltet wird, ist ein Thermoelement eingeschlossen, dessen einer Lötstelle durch Strahlung (Lebedew) oder direkt mittels des elektrischen Stromes (Voege) konstante Energiemengen zugeführt werden, während die andere Lötstelle auf gleichbleibender Temperatur erhalten wird. Es ist leicht ersichtlich, daß die Temperatur der Lötstelle mit

der Abnahme der Wärmeleitung des umgebenden Gases immer wächst, so daß man die Ausschläge eines empfindlichen Galvanometers als Maß für die Luftverdünnung nehmen kann.

An Stelle dieser Methode, welche 1875 durch Kundt und Warburg ausgearbeitet worden ist, wählte Dr. H. v. Pirani[1]) ein von Schleiermacher (1888) angegebenes Verfahren, bei dem der stationäre Zustand eines galvanisch erhitzten Drahtes beobachtet wird. Es kommt hierbei darauf an, einen Draht in einem luftleer zu machenden Gefäß derart unterzubringen, daß man ihn galvanisch erhitzen kann. Da man nun von den drei charakteristischen Größen: Strom, Spannung und Widerstand (aus welch letzterem bei bekannten Temperaturkoeffizienten die Temperatur des Drahtes zu berechnen ist), die eine konstant erhalten und die Veränderung der beiden anderen bei verschiedenen Luftverdünnungen beobachten kann, lo lassen sich folgende Variationen erzielen:

1. Die an den Draht angelegte Spannung wird konstant erhalten, und man beobachtet bei verschiedenen Drucken seine Widerstandsänderung bzw. die Änderung des ihn durchfließenden Stromes.
2. Der Widerstand, also die Temperatur des Drahtes, wird konstant erhalten, und man beobachtet und bestimmt die Energie, die dazu gehört, um diese Temperatur bei verschiedenen Verdünnungsstufen zu erzielen.
3. Die Strommenge wird konstant erhalten, und man beobachtet die Änderung der Spannung oder des Widerstandes.

Als elektrisch heizbarer Draht in dem evakuierbaren Gefäß wurde bei den ersten Versuchen eine Tantallampe (110 Volt, 25 Kerzen) verwendet. Diese wurde mit einem Akkumulator E (Fig. 146) und einem Milliamperemeter A in Serie geschaltet und an der Pumpe evakuiert. Die zunehmende Luftverdünnung bewirkt, daß die Erhitzung des Drahtes durch den Strom immer größer und bei konstanter Spannung der Strom infolge des positiven Temperaturkoeffizienten des Drahtes immer schwächer wird. Man kann also das Fortschreiten der Evakuierung direkt am Rückgang des Amperemeterzeigers beobachten.

Ehe nun die evakuierten Lampen zum Photometrieren kommen, werden sie noch in der Untersuchungsstation auf gute Beschaffenheit untersucht. Diese Untersuchung erstreckt

[1]) Sitzungsbericht der deutschen physikalischen Gesellschaft vom 14. Dezember 1906.

sich im allgemeinen auf drei verschiedene Punkte, und zwar Feststellung des genügenden Vakuums, Untersuchung des Glühfadens und der Kittknoten.

Das Vakuum muß untersucht werden, um entweder schlecht gepumpte Lampen auszumerzen oder an und für sich gutgepumpte Lampen zu entdecken, die jedoch infolge eines kleinen Sprunges oder Risses in den Glasteilen der Lampe allmählich Luft nachziehen und so das Vakuum derart verschlechtern, daß der Glühfaden der Lampe nach kurzer Brenndauer zerstört werden würde. Zur Untersuchung der Güte des Vakuums dient ausschließlich der in einer Dunkelkammer untergebrachte, 1851 zuerst von Ruhmkorff konstruierte Funkeninduktor. Der Apparat wird in Tätigkeit gesetzt, und die Stromzuleitungsdrähte der zu untersuchenden Lampe werden mit einem beliebigen Pol des Induktors in Kontakt gesetzt. Ist nun die Lampe gut evakuiert, so wird man jetzt in der Lampe keinerlei Stromübergang oder Lichterscheinungen bemerken, während bei weniger gut gepumpten Lampen ein schwach grünlicher, bei noch schlechteren ein hellblauer Schein bemerkbar wird. Lampen der letzten beiden Arten sind von der Weiterverarbeitung auszuschalten und nach genauer Untersuchung eventuell nach Ansetzung eines neuen Pumprohres nachmals zu evakuieren. Dies letztere ist natürlich nur möglich, sofern der Glaskörper der Lampe intakt ist und lediglich nur ein Pumpfehler vorgelegen hat.

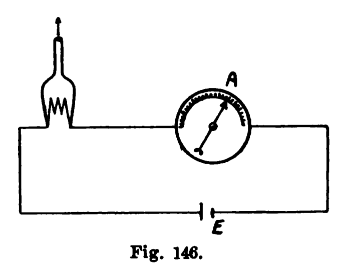


Fig. 146.

Auch der Glühfaden muß nach dem Evakuieren der Lampe nochmals daraufhin untersucht werden, ob er während des Pumpens irgendwie gelitten hat oder nicht. Es kann vorkommen, daß während des Pumpens, z. B. durch vorzeitiges Einschalten des Stromes oder durch unbemerktes Eindringen von Luft in die Pumpe, die Oberfläche des Fadens angegriffen worden ist, oder daß durch zu großes Überlasten des Fadens am Ende der Evakuieroperation kleine Teile der Präparierschicht abplatzen. Alle diese Fehler ergeben ein ungleiches Brennen des Fadens (Fachausdruck: „fleckiges Brennen“, vgl. auch H. Weber, Die Kohlenglühfäden, Dr. M. Jänecke, Hannover, S. 154) und die Gefahr, daß der Faden an den

heller glühenden Stellen sehr leicht durchbrennt. Um diese Fehler festzustellen, läßt man die evakuierten Lampen in der Brennstation ganz dunkel glühen. Hierbei lassen sich Ungleichheiten des Fadens, die beim hellen Glühen ohne weiteres dem Auge entschlüpfen, mühelos erkennen. Lampen mit fleckigen Fäden sind ebenfalls auszuschalten und lassen sich bisweilen reparieren, wenn man den Glühfaden in der Lampe in geeigneter Weise einer Nachpräparierung unterzieht. In gleicher Weise lassen sich durch das Pumpen entstandene Kittfehler erkennen. Kittfehler treten auf, wenn vor dem Einschmelzen der Kohle in die Lampenbirne der beim Kitten entstandene Kittknoten nicht genügend ausgetrocknet war und nun beim Pumpen der Lampe infolge der starken Erhitzung eine reichliche Gasung eintritt. Hierdurch werden die einzelnen Teile des Kittes stark gelockert und verlieren ihren Zusammenhalt (vgl. auch S. 62—71). Auch diese Lampen sind wertlos und müssen als Bruchverlust in Rechnung gezogen werden.

F. Das Reinigen des Quecksilbers.

Zum Schluß dieses Kapitels sollen noch einige Methoden angegeben werden, um das durch längeren Gebrauch in den Quecksilberpumpen verunreinigte Quecksilber wieder sauber zu machen; denn eine gute Saugwirkung, z. B. bei der Sprengelpumpe, ist nur möglich, sofern sowohl das verwendete Quecksilber als auch die Kapillaren absolut rein sind. Es ist wohl selbstverständlich, daß das Quecksilber nach längerem Gebrauch unrein wird und seine Wirkung hierdurch teilweise verliert. In den Sprengel-Pumpen fällt das Quecksilber in feinen Strahlen und Tröpfchen fortwährend durch die Kapillaren, kommt somit in ziemlich fein verteiltem Zustand mit Luft in Berührung und oxydiert sich allmählich. Diese Oxydschicht ist deutlich an der mattgrauen Farbe des Quecksilbers erkennbar. Weiter nimmt z. B. das Quecksilber die nicht im Phosphorkessel zurückgehaltene Feuchtigkeit auf, ebenso eventuell mitgerissene Teile des Phosphorsäuregentoxydes. Alle diese Umstände bewirken, daß das Quecksilber mit der Zeit unbrauchbar wird, aus der Pumpe entfernt werden und einer gründlichen Reinigung unterzogen werden muß.

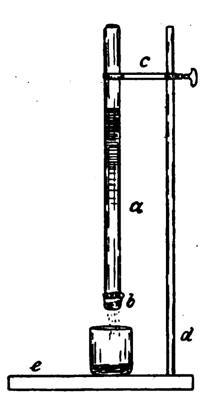


Fig. 147.

Die Reinigung des Quecksilbers erfolgt nun nach drei verschiedenen Methoden, die am besten jede nacheinander angewendet werden. Die Entfernung der gröberen Unreinigkeiten wird durch Filtrieren bewirkt. Zu diesem Zwecke benutzt man am besten den in Fig. 147 dargestellten Filtrierapparat. Derselbe besteht in einfachster Weise aus der etwa 1—1,2 m langen Glasröhre *a*, deren innerer Durchmesser ca. 1,5 cm beträgt. Die Röhre muß, um dem Quecksilberdruck wirksamen Gegendruck leisten zu können, möglichst dickwandig sein. Dieses Rohr trägt unten bei *b* das Filter, welches aus Rohleder besteht und dicht um das Rohr gebunden ist. Das Rohr wird gehalten von der Klemme *c*, welche wiederum im Stativ *d* mit Platte *e* befestigt ist. Das Rohr *a* wird nun mit dem unreinen Quecksilber gefüllt, worauf das gereinigte Metall durch die Poren des Filterleders dringt und in feinem Regen nach dem Sammelgefäß *f* gelangt.

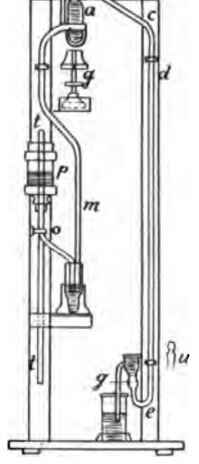


Fig. 148.

Hierauf erfolgt die weitere Reinigung entweder mit Hilfe chemischer Verfahren oder durch Destillation des Quecksilbers. Beide Verfahren sind in Anwendung und gestatten, ein brauchbar reines Metall zu erzielen. Die chemische Reinigung geschieht durch Weglösen des Oxydhauches und der Fremdmetalle durch Behandlung des filtrierten Quecksilbers mit geeigneten Säuren. Am besten eignet sich hierzu ein kräftiges Umschütteln des Metalles in einer Flasche mit konzentrierter Schwefelsäure oder verdünnter Salpetersäure. Hierauf wird die Säure mit destilliertem Wasser vollständig entfernt und die Trocknung des Quecksilbers vorgenommen mit Hilfe von Fließpapier oder durch Erhitzendes Metalles auf etwa 110° C.

Ein noch reineres Quecksilber ergibt das Destillieren, und zwar werden die hierzu benutzten Destillierapparate zumeist benutzt unter Hinzuziehung eines entsprechenden Vakuums. Ein sehr vielfach angewendeter Quecksilber-Destillierapparat ist der von Nebel[1]) konstruierte und in Fig. 148 dargestellte. Er besteht im wesentlichen aus zwei Barometern, die durch ein retortenartiges Gefäß *a* miteinander verbunden

[1]) Repert. der Phys. Bd. XXIII (1887), S. 236. Zentralblatt f. Elektrotechnik, Bd. IX, S. 334. The Electrician, XVIII, S. 368. Urbanitzky, Das elektr. Licht, S. 124.

sind. Das erste Barometer *m* mündet seitlich in den weiten Teil des Gefäßes *a*, während das zweite *cde* die Fortsetzung des Retortenrohres bildet. Der ganze Apparat zeichnet sich durch die Abwesenheit von Schliffen, Hähnen, Gummiröhren und Fett aus. Die Beschickung des Apparates mit dem zu destillierenden Quecksilber wird bewerkstelligt, indem man das Ende des zweiten Barometerrohres durch Einsetzen eines eingeschliffenen Glasrohres *n* an der Stelle *g* durch einen Kautschukschlauch mit einer Luftpumpe in Verbindung setzt und durch Auspumpen das Vakuum im ersten Barometerrohr herstellt, wobei sich infolge entsprechend bemessener Dimensionen die Retorte *a* ungefähr bis zur Hälfte füllt. Durch Erwärmen derselben mit dem Gasbrenner *g* beginnt nach einiger Zeit das Quecksilber in das zweite Barometer *de* hinüber zu destillieren, welches zugleich als Sprengelsche Pumpe wirkt, so daß stets ein gutes Vakuum in *a* erhalten bleibt. Der Quecksilberstand im ersten Barometer wird selbsttätig von einem Gefäß *p* aus unverändert erhalten, so daß man nur nötig hat, von Zeit zu Zeit in *p* Quecksilber nachzufüllen, während der Destillierbetrieb außer dem Anzünden und Auslöschen der Gasflamme keiner weiteren Wartung bedarf. Um das Zerspringen der Glasretorte *a* möglichst zu vermeiden, wird dieselbe mit einer Schicht Lehm oder Asbest vor der direkten Berührung der Flamme geschützt.

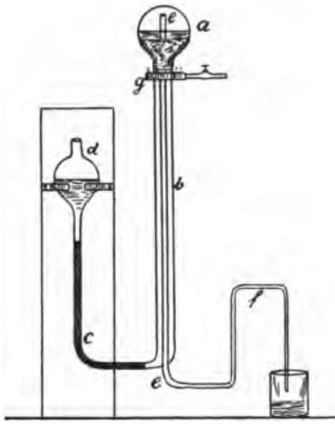


Fig. 149.

Ein weiterer Destillierapparat, der seiner Einfachheit wegen sehr häufig verwendet wird, ist in Fig. 149 gezeichnet. *a* ist eine entsprechend dimensionierte Glaskugel, welche das weite Rohr *b* trägt, welches durch den Kautschukschlauch *c* mit der Nachfüll- und Regulierkugel *d* in Verbindung gebracht ist. In das weite Rohr *b* ist ein engeres Rohr *e* eingeschmolzen, welches bis über die Mitte in *a* hineinragt und am anderen Ende die U-förmig gebogene Kapillarröhre (Barometerröhre) *f* trägt. *g* ist ein ringförmiger Gasbrenner, der unterhalb der

Kugel *a* angeordnet ist, die wiederum am besten durch Umwickeln mit Asbestschnur vor der direkten Berührung mit den Flämmchen geschützt ist. In *d* wird nun das zu destillierende Quecksilber eingefüllt, welches nun ebenfalls infolge der Kapillarität das weite Rohr *b* anfüllt. Hierauf wird bei *h* ein Vakuumschlauch angesetzt und mittels einer Pumpe *f* und damit auch *e* und *a* evakuiert; das Quecksilber steigt demzufolge jetzt in dem weiten Rohr *b* empor und füllt teilweise die Kugel *a* aus. Durch Heben und Senken von *d* läßt sich nun der Quecksilberspiegel bis zur gewünschten Höhe einstellen. Nach dem Anzünden des Rundbrenners *g* beginnt die Destillation; das Quecksilber fällt durch *e* nach dem Barometerrohr *f* und füllt dieses aus. Ist dies geschehen, so wird der Pumpenschlauch abgenommen und die Verbindung mit der Luftpumpe unterbrochen, und die Destillation nimmt nun ununterbrochen ihren Fortgang.

Bei Verwendung eines dieser Apparate ist es möglich, innerhalb einer zehnstündigen Arbeitszeit 4—5 kg reines destilliertes Quecksilber zu erhalten. Reines Quecksilber soll auf einem Porzellan- oder Glasteller beim Laufen der einzelnen Kugeln keinen sogenannten Schweif hinterlassen.

VIII. Das Bräunen und Schwärzen der Lampen und das Regenerieren derselben.

A. Das Wesen der Schwärzung und ihre Ursachen.

Es ist eine genügend bekannte Tatsache, daß auch die besten Kohlenlampen nach einer gewissen, verschieden langen Brennzeit allmählich bräunen und schließlich schwärzen. Diese wenig angenehme Eigenschaft ist trotz aller sorgfältigen Untersuchungen und eingehender Studien noch nicht ganz einwandfrei erklärt worden, und zwar liegt der Grund wohl hierin, daß die Chemie der Körper bei hohem Vakuum bei gleichzeitiger hoher Temperatur noch sehr ungenügend bekannt ist.

Die Ansichten über das Entstehen der Schwärzung der Birne, des sogenannten „Altersbeschlages", sind nun sehr verschieden und haben mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit für sich. So nimmt z. B. Henri Moissan[1]) an, daß die Schwärzung der Glasbirne durch das Verdampfen von Kohle aus dem Kohlefaden und nachherigem Absetzen der Kohleteilchen auf der Birne bewirkt wird. Moissan hat gezeigt, daß sich Kohlenstoff im elektrischen Lichtbogen ohne vorhergehende Schmelzung verdampfen läßt. Die hierzu notwendigen Temperaturen sind jedoch derart hohe, wie sie niemals in einem mit 3,3 Watt pro Hefnerkerze glühenden Kohlefaden vorhanden sind. Eine allmähliche Verdampfung des Kohlenstoffes erscheint demnach als ausgeschlossen.

Eine andere Theorie und Erklärung des Schwärzens der Lampen hat A. Berliner[2]) gegeben. Berliner hat sehr genaue Untersuchungen über die in Metallen und anderen Körpern okkludierten Gase angestellt und hat infolge dieser Untersuchungen angenommen, daß die in der Lampe befindlichen Gasreste von den Stromzuleitungsdrähten und dem Kohlefaden in der Kälte okkludiert, in der Hitze dann wieder

---

[1]) Comptes rendus 119, pag. 776. 1894.
[2]) Wiedem. Ann. d. Phys. u. Chem. 33, S. 289. 1888.

abgestoßen werden und dadurch ein mechanisches Abschleudern von Metall- und Kohleteilchen und somit auch eine allmähliche Zerstörung des Fadens hervorgerufen wird.

Ähnliches haben auch schon Hittorf (Wiedem. Ann. XXI, 1884, S. 126), Spottiswoode, Moulton (Phil. Trans. II, 1880, S. 582) und andere gefunden, daß nämlich von der negativen Metallelektrode Teilchen abgeschleudert werden, die sich bei hinreichend langer elektrischer Entladung auf Glaskörpern, welche die negative Elektrode umschließen, schließlich als Metallspiegel niedersetzen. Diese Erscheinung benutzte Wright (Beibl. zu Wiedem. Ann. I, S. 203 und 609) zur Herstellung von Hohlspiegeln mit Metallbelegung, und zwar wurden Spiegel erhalten von den meisten Metallen. Berliner stellte seine Versuche in der Weise an, daß er ein Platinblech in einem luftleeren Rezipienten vermittels des elektrischen Stromes zum Glühen brachte und die aus dem Blech abgesonderten Gase durch eine Luftpumpe absaugte. Dieses Verfahren wurde so lange fortgesetzt, bis kein Gas mehr bemerkbar war. Hierauf wurde Gas in den Rezipienten gelassen, so daß das Platin mit demselben längere Zeit in Berührung blieb; dann wurde wieder luftleer gesaugt, das Platin zum Glühen gebracht und das ausgeschiedene Gas gemessen. Bei diesen Manipulationen zeigte sich nun, daß dicht das Platin umhüllende Glasröhren einen charakteristischen Beschlag erhielten, und zwar trat der Beschlag am kräftigsten auf im Anfangsstadium des Erhitzens, wo also noch am meisten Gas im Platin okkludiert war.

Infolge dieser Versuche glaubt nun Berliner das Schwärzen der Lampe als eine analoge Erscheinung erklären zu dürfen, wohl aber mit Unrecht, sobald er hierin nur allein den Grund des Schwärzens erblickt. Richtig ist, daß die Elektrode und der Kohlefaden gewisse geringe Mengen von Gasen okkludieren. (Poröse Kohle absorbiert z. B. im kalten Zustand bis zur 1600-fachen Menge seines Volumens Gase und stößt sie beim Erhitzen ab. Wir haben es hier aber mit einem Faden von überaus dichter Kohle zu tun, der überdies noch mit einer festen Graphitschicht überzogen ist. Die Gase dürften demnach in keiner wesentlich größeren Menge okkludiert werden als auf den Metallelektroden.)

Nach Berliners Meinung müßten demnach Lampen, die mit gewissen geringen Mengen von Gasen angefüllt sind, leichter schwärzen als Lampen mit sehr hohem Vakuum, da hier Gelegenheit gegeben ist, daß Elektrode und Kohlefaden

in reichlicher Menge Gase okkludieren und wieder abstoßen können. Dies tritt aber nur ein, wenn die Lampen nicht gut evakuiert worden sind, wenn also noch merkbare Mengen von Luft sich in der Lampe befinden. Dagegen kann man sogar durch geringe Mengen inerter Gase, z. B. reinem Stickstoff, ein Schwärzen bis zu einem gewissen Grade verhindern; auch Wasserstoff zeigt eine ähnliche Wirkung. Geringe Mengen dieser Gase üben gewissermaßen einen Druck aus gegen das Zerstäuben des Kohlenstoffes. Eingehend auf die Versuche Berliners, hat Stark[1]) in dieser Richtung interessante Untersuchungen angestellt und gefunden, daß Berliners Ansicht unbedingt irrig sein muß. Beim Einschalten der Lampe müßten nach Berliner die okkludierten Gase aus dem glühenden Kohlefaden heraustreten und bei diesem Prozeß die kleinen Kohleteilchen, welche die Lampe schwärzen, mit sich reißen. Lampen gleicher Güte müßten demnach sich verschieden verhalten, wenn ein Teil derselben ununterbrochen brennt, während der andere unausgesetzt ein- und ausgeschaltet würde. Der erste Teil müßte nach einer gewissen Zeit weniger geschwärzt sein als der zweite, da bei diesem die schädliche Abschleuderung von Kohleteilchen nur einmal eintreten könnte, bei jenem aber immer wieder aufs neue beim Einschalten. Die Proben Starks haben aber ein negatives Resultat ergeben, da die Schwärzung der beiden Lampengruppen keinen wahrnehmbaren Unterschied in bezug auf Farbe und Dichte des Niederschlages zeitigten.

Eine bessere Erklärung der Zerstäubung der Kohle des Kohlefadens hat Stark[1]) gefunden, der dieselbe zurückführt auf die zerstörende Wirkung innerer Gasströme. Daß derartige Gasströme in einer glühenden Glühlampe wirklich vorhanden sind, wird durch folgenden Versuch bewiesen: Nimmt man den glühenden Kohlefaden der Lampe als Kathode und einen gegenüberstehenden Metallstift, der in geeigneter Weise eingeschmolzen worden ist, als Anode, so kann schon bei Anwendung kleiner elektromotorischer Kräfte von der Kohle zum Stift durch das verdünnte Gas ein elektrischer Strom übergehen. Hiernach vermutete Stark, daß auch zwischen verschiedenen Punkten des Glühfadens selbst, zwischen denen eine Spannungsdifferenz besteht, ein Strom durch das verdünnte Gas übergeht. Auch diese Vermutung konnte Stark hin-

[1]) Stark, E. T. Z. 1900, S. 152.

reichend sicher bestätigen. Man kann sich demnach den ganzen Raum einer brennenden Glühlampe als von schwachen vagabundierenden Strömen, die sich vom Glühfaden abzweigen, durchflossen denken.

Ein weiterer Beweis für das wirkliche Vorhandensein von geringen Mengen verdünnten Gases, der Ursache der Gasströme, ist der, daß in den Lampen beim Einschalten während des Evakuierens am Ende der positiven Elektrode, nahe der Ankittstelle des Kohlefadens an der Elektrode, das blaue Flämmchen (die Aureole) auftritt, die dann allmählich, entsprechend der Höhe des Vakuums, kleiner wird und schließlich verschwindet. Ist das hohe Vakuum erreicht, so läßt sich das Vorhandensein geringer Gasmengen nur noch durch ein Brennen mit Überspannung nachweisen, wobei die bekannte Erscheinung eintritt, daß die ganze Lampe mit einem schwachen bläulichen Licht erfüllt erscheint.

Stark erklärt nun die Entstehung der Schwärzung in folgender Weise: Ebenso wie in einer Entladeröhre mit Metallelektroden die Kathode durch elektrische Entladungen zerstäubt wird und sich auf der nahe der Kathode gelegenen Glaswand als feiner Beschlag absetzt, und zwar je intensiver, je größer die Entladestromstärke ist, ebenso müssen die Gasströme (als geringe Entladeströme angesehen) die Zerstäubung der Kohle hervorrufen, und zwar hauptsächlich an den negativen Teilen des Fadens, wo die Gasströme am stärksten auftreten. In der Tat verliert der negative Schenkel nach längerer Brenndauer durch Zerstäubung die glänzende grafitartige Präparierschicht und wird allmählich glanzlos schwarz und rußig. Bei Überspannung tritt dieser Vorgang rascher ein, und brennt daher der Faden gewöhnlich im negativen Teil durch.

Wenngleich auch die Untersuchungen Starks die zerstäubende Wirkung der inneren Gasströme beweisen, so kommen doch für die Schwärzung der Lampen eine Anzahl anderer Faktoren mit in Betracht. In erster Linie spielt hier eine große Rolle die Art des als Glühkörper verwendeten Materials. Wir wissen, daß ein unpräparierter, also nicht mit Grafit überzogener Faden leichter schwärzt und zerstört wird als ein präparierter, ebenso daß ein stark geglühter Faden bessere Eigenschaften in dieser Hinsicht zeigt als ein schwach geglühter (vgl. Weber, Kohlenglühfäden S. 148 und 132). Howells metallisierter, d. h. mehr oder weniger in Grafit überführter Faden, der bei 3700° geglüht worden ist, hält

für ca. 500 Stunden eine Belastung von 2,5 Watt pro Hefnerkerze aus, ohne dabei allzustark in Mitleidenschaft gezogen zu werden, während ein gewöhnlicher präparierter Faden bei dieser Belastung und in dieser Zeit schon längst völlig zerstört worden ist. Die physikalische und chemische Beschaffenheit des Materials bedingt unter sonst gleichen Umständen ein verschiedenartiges Verhalten in der Lampe. Amorphe und poröse Kohle schwärzt leichter als mit Grafit überzogene, präparierte Kohle, diese wieder leichter als metallisierte Kohle und diese endlich leichter als ein Faden aus Wolframmetall, wenngleich auch in allen vier Lampen die inneren Gasströme gleichartig zerstäubend auf die Fäden wirken. Diese vier Substanzen verhalten sich annähernd in ihrem Zerstäubungsvermögen wie 4,5 : 3,3 : 2,5 : 1, selbstredend bei gleicher Belastung.

Abgesehen von der amorphen oder grafitischen Eigenschaft des Kohlefadens hängt auch ein langsameres oder schnelleres Schwärzen ab von im Faden befindlichen Unreinlichkeiten. So wirken z B. leicht flüchtige Bestandteile, wie Eisen usw., sehr schnell schwärzend. Verfasser hat in dieser Hinsicht Versuche angestellt mit Kohlefäden, die künstlich mit Eisen versehen worden waren. Hieraus hergestellte Fäden schwärzten ungemein schnell.

Auch das mehr oder minder gute Vakuum spielt eine Rolle. Lampen mit hohem Vakuum schwärzen weniger als solche mit schlechtem Vakuum.

Im allgemeinen wird man finden, daß bei normalen guten Kohlenlampen der Niederschlag von Kohle an den Glaswänden nach ca. 400—500 Stunden Brennzeit langsam erscheint, und daß dann, sobald einmal erst der Beginn der Zerstäubung zu bemerken ist, die Bräunung und schließliche Schwärzung ziemlich rasch eintritt. Dieses Verhalten deutet darauf hin, daß für das Schwärzungsvermögen auch die physikalische Beschaffenheit des Materiales einen großen Einfluß besitzt. Ebenso wie ein konstant vom elektrischen Strom durchflossener kupferner Leitungsdraht langsam brüchig (kristallinisch) wird, ebenso verliert auch der konstant bei hoher Temperatur gehaltene Kohlefaden seinen inneren Halt und kann dann der zerstäubenden Wirkung der inneren Gasströme keinen genügenden Widerstand entgegensetzen. Dagegen ist merkwürdigerweise zu konstatieren, daß einzelne Lampen, die vom selben Material und unter ganz gleichen Bedingungen hergestellt worden sind, oft die drei- bis vierfach längere Brennzeit aushielten, ohne zu schwärzen.

B. Die Beschaffenheit des Altersbeschlages und die Wirkungen der langen Brenndauer.

Was die chemische und physikalische Beschaffenheit des Niederschlages anbelangt, so ist nur zu bemerken, daß er Kohlenstoff ist in äußerst fein verteilter rußartiger Modifikation. Nach dem Öffnen einer geschwärzten Lampe kann man nachweisen, daß der Beschlag im allgemeinen sehr lose an den Glaswänden haftet und sich leicht abwischen läßt. Die Farbe ist bei sehr dünnem Beschlag gelblich-braun und geht beim Dichterwerden über in Schwarzbraun und Metallischschwarz. Nach interessanten Untersuchungen von Edw. L. Nichols hat die Farbe des Beschlages praktisch denselben Charakter, selbst dann, wenn gänzlich verschiedene Betriebsbedingungen vorlagen. Nichols hat gefunden, daß die Farbe desselben nahezu neutral ist, indem sie für alle Teile des Spektrums angenähert denselben Lichtprozentsatz durchläßt. Hiermit hat Nichols bewiesen, daß der Beschlag keine besondere Absorptionsfähigkeit für bestimmte Lichtstrahlen besitzt, und daß er lediglich nur eine Verdüsterung des Lichtes bewirkt. Hinsichtlich der Lichtdurchlässigkeit des Beschlages läßt sich feststellen, daß dieselbe selbstverständlich immer geringer wird, je dichter der Beschlag geworden ist. Nichols hat in dieser Richtung ebenfalls Untersuchungen angestellt, und zwar mit Lampen, deren Fäden unpräpariert und präpariert waren. Der Befund dieser Untersuchungen sei hier kurz im Auszug wiedergegeben:

Stunden	Volt	Ampère	Ohm.	Normalkerzen	Watt pro Kerze	Lichtdurchlässigkeit
I. Unpräparierte Fäden.						
0	101,8	0,474	214,8	16	3,015	100 %
100	101,9	0,453	225,3	12,5	3,697	92,4 %
200	101,8	0,421	225,9	10,8	4,250	87,2 %
400	101,8	0,418	237,7	9,7	4,510	83,6 %
800	101,9	0,415	245,6	7,2	5,880	79,1 %
II. Präparierte Fäden.						
0	36,0	1,171	30,63	8,2	5,16	100 %
200	35,9	1,145	31,27	7,1	5,91	90,6 %
908	36,14	1,140	31,70	6,97	—	85,0 %

Aus Tabelle I ersieht man deutlich, daß bei einer für unpräparierte Kohlenfäden anfänglich sehr hohen Belastung (3,015 Watt pro Normalkerze) die Lichtdurchlässigkeit sehr schnell abnimmt, und zwar nach 800 Brennstunden um ca. 21 %. Gut präparierte Kohlen sollen nach 1000 Brennstunden nur etwa 20 % des Lichtes verloren haben. Tabelle II zeigt die Resultate mit präparierten Fäden, und zwar mit sehr geringer Anfangsbelastung (5,16 Watt pro Normalkerze). Es ist nach allem Vorhergesagten nicht verwunderlich, daß bei diesen Lampen nach etwa 900 Brennstunden erst eine Lichtabnahme von 15 % zu verzeichnen ist. Die erste Wirkung des Altersbeschlages ist demnach erläutert: Die Schwärzung der Glasglocken bedingt infolge der lichtabsorbierenden Fähigkeit des Beschlages eine Abnahme des vom glühenden Faden ausgestrahlten Lichtes. Eine weitere Lichtabnahme wird dadurch bewirkt, daß der Querschnitt und damit auch die Oberfläche des Fadens durch den durch Zerstäubung hervorgerufenen Materialverlust verringert wird. Wir ersehen aus Tabelle I, daß der anfängliche Widerstand (214,8 Ω) durch Verringerung des Querschnittes ganz bedeutend nach 800 Stunden Brennzeit angewachsen ist (245,6 Ω), d. i. um 10 %, während bei gleicher Spannung im selben Maße die Stromstärke gesunken ist (um 8,3 %). Betrachten wir die Tabelle noch näher, so werden wir finden, daß die Lichtabnahme noch einen dritten Grund hat. Nach Nichols Untersuchungen ist nach 800 Brennstunden der Altersbeschlag derart beschaffen, daß er 21 % des vom Faden ausgesandten Lichtes verschluckt, in unserem Falle also 3,36 Kerzen. Wenn keine Veränderungen sowohl mit dem Faden als auch mit der Lampe selbst vorgegangen wären, so müßte die Summe aus dem absorbierten und dem gemessenen Licht 16 Kerzen ergeben; wir erhalten aber nur $7{,}2 + 3{,}36 = 10{,}56$ Kerzen. Es sind demnach 5,44 Kerzen anderweitig verloren gegangen. Wie schon erwähnt wurde, ist ein Teil des Verlustes auf Rechnung der verminderten Fadenoberfläche zu setzen, während der andere Teil noch der Erklärung bedarf. Diese Erklärung finden wir, wenn wir die Zahlen der durch den Faden geschickten elektrischen Energie bei Anfang des Versuches und nach 800 Stunden Brenndauer betrachten und gleichzeitig die thermischen Eigenschaften der Lampe einer näheren Untersuchung unterziehen.

Zur Erzielung einer Lichtstärke von 16 Normalkerzen wurden anfänglich gebraucht 48,25 Watt, d. i. 3,015 Watt pro Normal-

kerze; für 10,56 Kerzen werden nach 800 Brennstunden gebraucht 42,28 Watt, d. i. 4,2 Watt pro Normalkerze. Die Abnahme der Stromstärke ist demnach nicht proportional der Abnahme des Querschnittes des Fadens erfolgt, sondern richtet sich daneben noch nach einer anderen Erscheinung. Es ist bekannt, daß eine ungebrauchte Lampe beim Brennen ziemlich kalt ist, daß sie aber allmählich, der Länge der Brenndauer entsprechend, wärmer wird, auch dann schon, wenn noch keine merkliche Menge von Beschlag sichtbar ist. Je kräftiger nun der Beschlag wird, desto heißer wird die Lampe und kann unter Umständen so heiß werden, daß sie nicht mehr anfaßbar ist. Diese Erscheinung beruht zum größten Teil auf der Verschlechterung des Vakuums der Lampe, welche dadurch entsteht, daß noch kleine im Faden befindliche Gasreste herausgetrieben werden und nun die Glocke anfüllen. Dieses verdünnte Gas wird nun durch den glühenden Faden erhitzt und leitet nun energisch die Wärme nach außenhin ab. Diese Wärmeableitung bedeutet für die Lampe den dritten Verlust. Um noch einmal zu resumieren:

Die Lichabnahme einer Glühlampe wird bedingt durch folgende drei Faktoren:

1. Durch die Entstehung der Schwärzung und der hierdurch erfolgenden Lichtabsorption;

2. durch die Verringerung des Querschnittes und damit auch der lichtausstrahlenden Oberfläche des Fadens, und

3. durch die Verschlechterung des Vakuums und der dadurch hervorgerufenen Wärmeableitung nach außen, d. h. der Erhöhung des spezifischen Wattverbrauches.

C. Verfahren zur Verminderung oder Beseitigung des Altersbeschlages und die Verlängerung der Nutzbrenndauer der Lampen.

Es ist wohl selbstverständlich, daß man nach Erkennen der schädlichen Wirkung des Altersbeschlages und der Zerstäubung des Kohlefadens versucht hat, Mittel und Wege zur Beseitigung dieses Mißstandes zu suchen. Zuerst suchte man das Fadenmaterial selbst zu verbessern und gegen die zerstäubende Wirkung der inneren Gasströme usw. widerstandsfähiger zu machen. Es sei hierbei nur kurz erinnert an die ausgezeichneten Erfolge des Präparierens der amorphen Kohle-

fäden, d. h. des elektrolytischen Überziehens der Fäden mit einer Grafitschicht und des Howellschen Metallisier- oder Grafitierverfahrens durch Glühen der Fäden bei sehr hohen Temperaturen im elektrischen Widerstandsofen. Zur näheren Unterrichtung verweist der Verfasser auf das kürzlich erschienene Buch: Weber, Die Kohlenglühfäden. (Verlag Dr. Max Jänecke, Hannover.)

Es sind im Laufe der Zeit nun eine Menge Verfahren zur Verhütung des Altersbeschlages ausgearbeitet und teilweise verwendet worden, von denen hier nur eine Anzahl angedeutet oder beschrieben werden sollen.

In erster Linie wurden Füllungen mit gewissen Gasen angewendet, die, in bestimmten Mengen angewendet, einen Gegendruck gegen die Zerstäubung der Fäden ausüben. Den Wasserstoff verwenden hierzu Gebr. Siemens & Co., Berlin[1]), der infolge seiner großen Molekulargeschwindigkeit das Verzehren der Kohle verhindern und gleichzeitig eine reinigende Wirkung der Glashülle haben soll. Besser eignet sich hierzu reiner Stickstoff, der den Vorzug hat, ein ungleich schlechterer Wärmeleiter als der Wasserstoff zu sein. Ähnliche Anwendungen fanden Kohlenoxyd, Kohlendioxyd, Cyangas und andere mehr oder weniger indifferente Gase. Man erreichte hierdurch wirklich ein langsameres Erscheinen des Altersbeschlages; jedoch wurden andere, sehr lästige Übelstände hierdurch hervorgerufen, z. B. die Erzeugung großer Hitze und sehr oft vorkommendes Platzen der Lampen. Jetzt werden mit Wasserstoff angefüllte Glühlampen fast ausschließlich nur noch zu Heizzwecken angewendet.

Einen besseren Weg, um schadhaft gewordene Fäden während des Brennens in der Lampe wieder auszubessern und dadurch die Lebensdauer derselben zu vergrößern, hatten Dr. Fritz Blau und die Elektrische Glühlampenfabrik „Watt“ Scharf & Co., Wien[2]), gefunden, indem sie feste kohlenstoffhaltige Körper in die Lampe bringen, die allmählich verdampfen und nun durch die auftretende Präparatur den durch Zerstäuben des Fadens auftretenden Materialverlust wieder ersetzen. Der hierbei frei werdende Wasserstoff verhütet nun gleichzeitig ein allzu rasches Zerstäuben des Fadens. Es kommt hierbei sehr darauf an, die betreffenden Substanzen, z. B.

---

[1]) D.R.P. 34479 vom 10. Mai 1885.
[2]) D.R.P. 143200 vom 27. Juli 1901

Antracen, Pyren, Chrysen usw., in sehr genau abgemessener Dosierung anzuwenden. Zu geringe Mengen haben keine genügend kräftige Wirkung, während zu große Mengen ebenfalls schädlich und nicht brauchbar sind, da sie durch zu lebhaftes Absondern von Kohlenstoff auf dem Faden und zu reichliche Entwicklung von Gasen sehr bald die elektrischen Konstanten der Lampe verändern. Deshalb wurde eine geeignete Anordnung getroffen. An der Spitze der Lampe wurde ein kleines Glasröhrchen mit Kapillare angeschmolzen, in deren hinteren Teil der verwendete feste Kohlenwasserstoff untergebracht war. Die Kapillare war derart abgestimmt, daß gerade die nur notwendige Menge Kohlenstoff verdampfen konnte.

Eine gänzlich andere Methode zur Verhütung der Schwärzung der Glasglocken und zur Vergrößerung der wirtschaftlichen Lebensdauer elektrischer Glühlampen wendet Siemens & Halske, Berlin [1]), an. Die Schwärzung der Glasbirnen soll nach diesem Verfahren stark herabgemindert werden durch Vergrößerung der Glocken. Es wurde durch Versuche festgestellt, daß hierdurch die Schwärzung abnimmt, und zwar ergab sich, was nicht ohne weiteres vorauszusehen war, daß die Lichtdurchlässigkeit der Glasbirne nach einer bestimmten Brenndauer nicht im umgekehrten Verhältnis ihrer Oberfläche abnimmt, sondern bei großen Glocken in einem wesentlich günstigeren Verhältnis.

Fig. 150.

Um die zerstäubende Wirkung der inneren Gasströme, d. h. der in der Richtung nach außenhin wirkenden elektrischen Kräfte, aufzuheben, erreichen Hartmann & Braun, Frankfurt a. M. [2]), dadurch, daß in jedem zum Glühkörper senkreckten Querschnitt eine Fläche nahe zu konstanten Potentials geschaffen wird. Dies wird am besten dadurch erzielt (Fig. 150), daß um den geraden Glühfaden AB ein schraubenförmiger Faden CD gewunden wird, der an den Enden mit AB verbunden ist. Eine ähnliche Wirkung erzielte Edison (Amerikanische Patentschrift 273486) in etwas abgeänderter Anordnung.

Hier zur Ergänzung sei noch ein interessanter Versuch von Siemens & Halske, Berlin, erwähnt, der ebenfalls darauf hinwirkte, die zerstäubende Wirkung der inneren Gas-

---

[1]) D.R.P. 134027 vom 14. Juni 1901.
[2]) D.R.P. 106445 vom 24. Juni 1898.

ströme (vagabundierenden Ströme) unschädlich für den Faden zu machen. Der negative und positive Teil des Glühfadens wurde durch eine durchsichtige Scheidewand, z. B. Glimmerplatte, getrennt, wie es in Fig. 151 angedeutet ist. Ebenso versuchte man den am stärksten in Mitleidenschaft gezogenen negativen Schenkel durch Umhüllen mit einer Glasröhre (Fig. 152) zu schützen. Welchen Erfolg man mit beiden Versuchen zu verzeichnen hatte, kann der Verfasser nicht mitteilen, da sie nur Versuche geblieben sind und nicht in der Praxis zur Einführung gelangten.

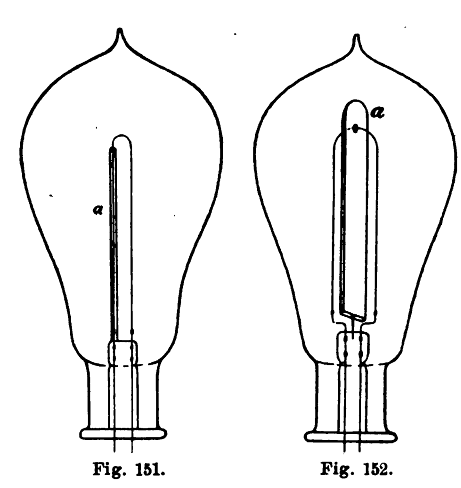


Fig. 151. Fig. 152.

Schließlich sei noch das Verfahren von C. Pollak in Sanok[1]) erwähnt, bei welchem eine Verminderung der Wärmeausstrahlung und der Schwärzung der Lampenglocke bezweckt wird. Pollak will dies dadurch erreichen, daß er innerhalb der Lampenglocke den Kohlenbügel mit einem Glimmerzylinder umgibt, der den größten Teil der Wärmestrahlen nach innen gegen den glühenden Bügel hin reflektiert, die Lichtstrahlen aber durchläßt. Hierdurch soll auch gleichzeitig ein besserer spezifischer Wattverbrauch (durch Verminderung des Stromverbrauches) erreicht werden. Diese Anordnung verhindert allerdings das Absetzen des zerstäubten Kohlenstoffes an der Glasbirne, so daß dieselbe rein bleibt; jedoch schwärzt sich der den Faden umgebende Glimmerzylinder viel rapider als im gewöhnlichen Falle die Glasglocke, so daß der ursprüngliche Zweck nicht erreicht wird.

[1]) D.R.P. 47476 vom 20. Juni 1888.

IX. Die Reparatur defekter Glühlampen.

Alle diese Verfahren aber, mit Ausnahme der Vergrößerung der Lampenglocken, haben keinen Eingang in die Praxis gefunden, so daß man also mit einer schnelleren oder langsameren Schwärzung und schließlichem Durchbrennen der Lampe rechnen muß. Man hat sich nun gefragt, ob es nicht möglich ist, diese abgestorbenen Lampen, die doch viel Arbeitszeit und Lohn gekostet haben, auf billige und bequeme Weise wieder zu reparieren, d. h. also die geschwärzte Glocke wieder sauber zu machen und den durchgebrannten oder sonstwie beschädigten Faden durch einen neuen zu ersetzen. Es sind auf diesem Gebiete eine Unmenge Versuche gemacht worden und viele Verfahren entstanden, die früher wohl bei den hohen Glühlampenpreisen anwendbar waren, jetzt aber entweder infolge technischer Schwierigkeiten oder anderer mißlicher Begleiterscheinungen, z. B. großer Kostspieligkeit und geringer Dauerhaftigkeit der reparierten Lampen, nicht mehr in Anwendung sind. Gegenwärtig werden kaum noch defekte, d. h. ausgebrannte Glühlampen repariert, da infolge der heutigen maschinellen Einrichtungen eine neue Lampe fast nur ebensoviel kostet und die Anfertigung nur wenig Zeit mehr beansprucht als die Reparatur. Immerhin seien einige Verfahren angeführt, um dem Leser die Art und Weise und die Möglichkeit der Reparatur vor Augen zu führen.

Um das Ersetzen durchgebrannter Fäden zu erleichtern, wurden Glühlampen aus zwei Teilen geschaffen. So entstand z. B. die Stöpsellampe der Westinghouse Co. Der Glasfuß mit Zuleitungsdrähten und Kohle wurden in den Glasballon eingeschliffen und während des Evakuierens der Lampe am äußeren Rande mit Fett abgedichtet. War nun der Faden durchgebrannt, so wurde die Spitze der Lampe abgebrochen, der Schliff aus der Glocke entfernt und eine neue Kohle an-

gekittet. Abgesehen davon, daß öfters Undichtheiten vorkamen, ist die Anwendung von sauberen Schliffen immer eine kostspielige Sache, die bei den heutigen Lampenpreisen vollkommen ausgeschlossen ist.

Eine andere Methode, die leichter ausführbar ist, aber ebensowenig Eingang in die Praxis gefunden hat, ließ sich Paul Scharf, Berlin [1]), patentieren. Nach diesem Verfahren wird zum leichteren Ersatz des ausgebrannten Kohlenfadens die Glühlampe ebenfalls aus zwei Teilen hergestellt, und zwar derart, daß die beiden zu verbindenden Glasballonteile mit ebenen, am besten abgeschliffenen Rändern aufeinander gesetzt werden. Die zu verbindenden Ränder der beiden Glasteile sind am besten zwecks Vergrößerung der Berührungsfläche (Fig. 153) wulstartig verstärkt. Durch eine in der Fuge befindliche, bei schwacher Rotglut fließende Glasschmelze wird nun die dichte Verbindung hergestellt. Die Glasschmelze besteht aus einem Gemisch von Mennige oder Bleisalzen mit Borsäure und Kieselsäure, die am besten mit Terpentinöl zu einer streichfähigen Paste angerührt werden. Ein geeignetes Gemisch ist z. B. 7 Teile Mennige, 2 Teile Borsäure und 1 Teil feingemahlener Sand. Nach dem Auftragen der Paste auf die Ränder der Glashüllenteile wird nach dem Eintrocknen derselben die Verbindungsstelle zur schwachen Rotglut erhitzt und so eine dichte Verbindung hergestellt. Zur Trennung beider Teile wird die Kittstelle ringsum mit einer Stichflamme erhitzt und die Glasschmelze flüssig gemacht, so daß jetzt eine Trennung mühelos erfolgen kann. Da aber bei unvorsichtigem und ungleichmäßigem Erhitzen durch Sprünge sehr viel Bruch entstand, so verwendete späterhin Scharf zur Lösung der Glasschmelze konzentrierte Alkalilaugen.

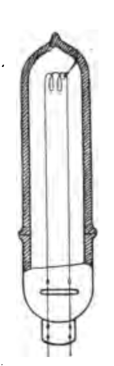


Fig. 153.

Auf die Methode von Robert Trimmel, Wien [2]), sei nur kurz hingewiesen.

Auch bei Lampen, die nicht aus zwei Teilen bestehen, läßt sich der durchgebrannte oder gebrochene Faden durch einen neuen ersetzen. So wendet z. B. Marcel Dumont, Paris [3]), folgendes Verfahren an. Nach dem Abbrechen der

---

[1]) D.R.P. 93068 vom 12. August 1896 und D.R.P. 108541 vom 10. August 1898.

[2]) D.R.P. 122152 vom 4. Oktober 1900.

[3]) D.R.P. 119072 vom 21. Juni 1899.

Spitze wird die entstandene Öffnung so erweitert, daß man einen neuen Kohlenfaden in die Lampe bringen kann, und nun der alte Faden durch Abschneiden dicht unter der Ankittstelle entfernt. Der neue Faden ist an den beiden Schenkeln mit Metallhülsen versehen worden, die nun über die beiden übriggebliebenen Elektrodenenden in der Lampe geschoben werden. Nachdem dies geschehen ist, wird durch Erzeugung eines Lichtbogens, z. B. durch Berührung mit zwei stromführenden Kohlenstäben, die Metallhülse mit den Elektroden verschweißt.

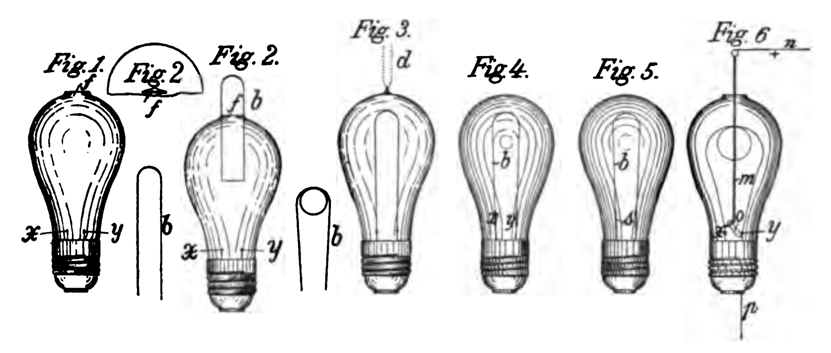


Fig. 154.

Ein anderes Verfahren rührt her von Josef Möhrle, München [1]). Nachdem an der Spitze der Lampe ein Schlitz *f* (Fig. 154, *1* und *2*) hergestellt worden ist, wird der alte Kohlenfaden entfernt und die beiden Elektroden xy gereinigt. Hierauf wird auf diese eine geringe Menge eines eigenartigen Kittes aufgetragen. Dieser Kitt besteht aus geglühtem Silbergrafit, pulverisierter Kohle (geglühte Piassaba) und einer Kupferlösung. Jetzt wird der neue Faden in die Lampe eingeführt und an die Kittstellen angedrückt. Ist dieser etwas erhärtet, so daß der Faden schon fest angeklebt ist, so wird die Verbindung vervollständigt, und zwar durch vermehrtes Auftragen von Kitt. Die Lampe kommt nun zum Trocknen. Nach diesem Vorgang muß die Kittstelle leitend gemacht werden. Dies geschieht in der in Fig. 154, *6* angegebenen Weise: Man benutzt dazu eine Vorrichtung, welche aus einem Kupfer-

[1]) D.R.P. 58802 vom 3. Oktober 1890.

draht *m* besteht, der mit einer Isoliermasse überzogen ist, so daß eine schädliche Berührung mit dem Kohlenfaden vermieden wird. An seinem oberen Ende ist der Kupferdraht mit der Stromleitung *n* verbunden, an seinem unteren Ende besitzt er einen kleinen Kohlenstift *O*. Die zweite Stromzuleitung erfolgt durch *p* nach *y*. Wird nun durch Berührung von *O* ein kleiner Flammenbogen erzeugt, so wird der Kittknoten zur Rotglut erhitzt. Der Erfinder erzielt hierdurch eine gut leitende und steinharte Verbindung von Kohlenfaden und Elektrode. Dasselbe geschieht nun mit dem zweiten Kittknoten.

Nach den Mitteilungen der Glühlampenfabrik Fleischhacker & Co. in Dresden-Pleschen[1]) war dieses Möhrlesche Verfahren längere Zeit mit gutem Erfolg in Gebrauch.

In ähnlicher Weise verbindet Victor Kormin, Wien[2]), den neuen Kohlenfaden mit den übriggebliebenen Enden der Elektroden. Die Kohlenfäden werden an den Schenkeln mit Metallhülsen versehen, diese Hülsen über die Elektroden geschoben und mittels Weichlotes und eines kleinen Lötkolbens fest verbunden.

Um geschwärzte Lampen, deren Fäden nicht durchgebrannt sind, sondern nur ihr Licht verloren haben, wieder gebrauchsfähig zu machen, ohne den Faden durch einen neuen zu ersetzen, wendet Ferdinand Fanta, London[3]), folgendes Verfahren an. Zuerst kommt es darauf an, die Glocke wieder sauber zu machen. Bisher wurde die Reinigung erzielt durch Öffnen der Birne und Erhitzen derselben auf Rotglut, bis der schwarze Kohlenniederschlag verschwunden war (Eclairage Electrique, Bd. XII, 1897, III, pag. 94). Bei dieser Behandlung litten die Glocken durch auftretende Deformierung. Fanta bewerkstelligt die Reinigung derart, daß er nach Öffnen der Lampe an der Spitze durch die Öffnung in geeigneter Weise heiße Luft oder Sauerstoff einbläst und gleichzeitig die Glocke schwach erhitzt. Zweckmäßig wird hierbei die Lampe in Rotation versetzt, um jeden Punkt der Glaswandung zu erwärmen. Ist die Glocke absolut sauber geworden, was in sehr kurzer Zeit geschehen ist, so wird nach dem Patent 130 699 der Kohlenfaden einer Nachpräparierung unterworfen. Hierbei sind einige Vorsichtsmaßregeln an-

---

[1]) E. T. Z. XIX (1898), S. 61.
[2]) D.R.P. 120 876 vom 27. Februar 1900.
[3]) D.R.P. 130 699 vom 15. Mai 1900.

zuwenden, um die Abscheidung von Ruß und anderen schmutzenden Bestandteilen zu verhindern. Es geschieht dies in der Weise, daß man dem zum Präparieren verwendeten Kohlenwasserstoff einen entsprechenden Prozentsatz von Luft beimischt und das Kohlenwasserstoff-Luftgemisch, bevor es in die Birne geleitet wird, durch eine glühende Röhre durchgehen läßt, wobei der größte Teil der leicht zersetzlichen Produkte verbrannt wird, so daß es gelingt, einen festen Grafitniederschlag auf dem Kohlenfaden zu erhalten, ohne, wie bei der gewöhnlichen Präparatur, die Birneninnenseite zu trüben. Von ganz besonderem Vorteil ist hierbei, wenn man in geeigneter Weise, z. B. durch eine Pumpvorrichtung, das Kohlenwasserstoff-Luftgemisch, in energischer Zirkulation erhält.

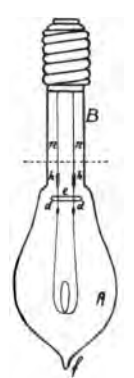


Fig. 155.

Schließlich sei noch das L. Beckersche Verfahren[1]) genannt, welches seiner Eigentümlichkeit wegen kurz geschildert sei. Dieses Verfahren erstrebt eine sichere Erneuerung ausgebrannter Fäden und eine wesentliche Verminderung der bei den oben beschriebenen Methoden notwendigen Glasarbeiten. Zu diesem Zwecke ist zunächst die äußere Gestaltung der Glashülle einer geringen Abänderung unterzogen worden. Dieselbe besteht, wie aus Fig. 155 ersichtlich, aus der eigentlichen Birne *A* mit dem Glühfaden und dem kürzeren, jedoch ziemlich weiten röhrenförmigen Hals *B*. Durch dieses Rohr sind die Einschmelzplatindrähte geführt, die an die langen Nickeldrähte *n* angelötet sind. Der Glühfaden ist mittels des „Einbrennverfahrens" an kurze Drahtstückchen *d* befestigt, die zweckmäßigerweise durch den Glassteg *e* stabil miteinander verbunden sind, und die mit den freien Enden der Stromzuführungsdrähte *n* vermittels übergeschobener Hülsen *h* lösbar verbunden sind. Soll nun eine derartige Lampe, nachdem der Kohlenfaden unbrauchbar geworden ist, einer Wiederherstellung unterzogen werden, so öffnet man die Lampen an der Spitze *f* und sprengt das Rohr *B* an der durch die punktierte Linie gekennzeichneten Stelle vorsichtig ab, entfernt durch Ziehen an dem Glassteg *e* die Kohle und befestigt in der angegebenen Weise eine neue Kohle. Hierauf wird an die Spitze *f* der Lampe ein Pump-

[1]) E. T. Z. 1897, S. 778.

stengel angesetzt, die beiden Teile *A* und *B* wieder sauber verschmolzen und die Lampe von neuem evakuiert. Obgleich hierbei das Erneuern des Kohlenfadens ziemlich einfach erscheint, da hier keine weite Öffnung an der Spitze zum Einführen des neuen Fadens erforderlich ist, welche dem Glasbläser beim sauberen Zusammenschmelzen und nachherigen Pumpstengelansetzen sehr viel Schwierigkeiten bereitet, und da das Zusammensetzen der abgesprengten Teile *A* und *B* auch kein großes Kunststück ist, so erscheint dem Verfasser doch auch dieses jüngste Verfahren recht mangelhaft und ungeeignet zur ausgedehnten Einführung. Abgesehen davon, daß beim Absprengen kein unwesentlicher Bruch erzielt wird und weiter die Zusammenschmelzstellen infolge häufigen Erhitzens nicht mehr tadellos erzielt werden können, ist die Verbindung der Stromzuführungsdrähte vermittels der übergeschobenen Hülsen eine direkt fehlerhafte. Wie schon früher dargetan, können Lampen mit derartigen Hülsen niemals genügend luftfrei erhalten werden, so daß eine baldige Zerstörung des Kohlenfadens eintreten muß. Außerdem ist eine Lockerung der Verbindungsstellen nicht ausgeschlossen.

Aus den Erörterungen der obigen Reparaturverfahren ist deutlich ersichtlich, daß dieselben bis zur Neuzeit keinen wesentlichen Erfolg errungen haben. So könnte der Verfasser auch keine einzige Glühlampenfabrik namhaft machen, die heute Glühlampen nach irgendeinem System repariert, wenn auch zugegeben werden mag, daß dies oder jenes Verfahren für kurze Zeit in Anwendung war. Im übrigen ist der Verfasser der Meinung, daß eine Reparatur sehr überflüssig ist. Der Glühlampentechniker soll nur sein Augenmerk richten auf Verwendung eines guten Glühfadens, Anwendung von bewährten glastechnischen Methoden, Erzielung eines guten Vakuums in der Lampe und nie mehr versprechen, als die Lampe in Wirklichkeit leisten kann. Der Konsument wird dann, wenn die Lampe einigermaßen das Versprochene hält, sehr gern nach Defektwerden der Lampe sich für einen angemessenen Preis eine neue kaufen und gern verzichten auf billigere reparierte Lampen. Denn eine reparierte Lampe ist und bleibt kein erstklassiges Fabrikat mehr, sondern ist ein sehr minderwertiges Produkt.

X. Das Photometrieren der Lampen.

Mit dem Evakuieren der Lampen und der nachfolgenden Befestigung der Sockel ist die eigentliche Herstellung der Glühlampe beendet. Das jetzt noch zu beschreibende Photometrieren der Lampen, d. h. die Bestimmung der Lichtmenge bei bestimmten elektrischen Konstanten, ist nur eine Kontrolle des hergestellten Fabrikates, einerseits, um dem Fabrikanten ein genaues Bild zu geben über die Genauigkeit seiner Arbeitsmethoden, anderseits dem Abnehmer gegenüber Gewähr leisten zu können, daß er auch wirklich das bekommt, was er verlangt hat.

Der Verfasser hat es nun nicht für notwendig gehalten, das Kapitel „Photometrie" in der ausführlichen Art und Weise zu schildern, wie es für die anderen Fabrikationsstufen in den früheren Kapiteln geschehen ist, einesteils, weil die Bestimmung der Lichtmenge kein eigentlicher Fabrikationszweig ist, anderenteils, weil eine größere Anzahl guter Werke vorhanden ist, welche das Photometrieren in ausführlicher und ausgezeichneter Weise behandeln. Der Verfasser verweist hierbei nur auf Dr. Hugo Krüß, Die elektrotechnische Photometrie, Dr. Ing. B. Monasch, Elektrische Beleuchtung, S. 1—52 (Verlag Dr. M. Jänecke, Hannover), und auf das neuerdings erschienene Werk von Dr. Liebenthal, Photometrie.

Es sollen hier nur, soweit es zum Verständnis notwendig ist, in großen Zügen die allgemein in Anwendung befindlichen Methoden angedeutet werden, ohne hierbei auf die geschichtliche Entwicklung einzugehen.

Die fast allgemein verwendeten Meßmethoden sind:

1. Die Methode des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (Verbandsmethode),
2. Die Winkelspiegelmethode der Siemens & Halske A.-G.

Für das Photometrieren von Glühlampen hat der Verband Deutscher Elektrotechniker im Jahre 1897 Bestimmungen erlassen, die von den deutschen Glühlampenfabriken allgemein angenommen worden sind. Im folgenden soll kurz diese Methode angegeben werden, welche durch die Fig. 156 in deutlicher Weise vor Augen geführt wird.

Es ist *ab* eine gerade Photometerbank von 2,5 m Länge, *A* der Photometerkopf (am besten nach Lummer-Brodhun), *b* eine Hilfslichtquelle oder Vergleichslampe, *C* die zu messende Lampe oder Normallampe und *D* ein Winkelspiegel. *A* und *B* sind auf Wagen oder sogenannten Schlitten montiert derart,

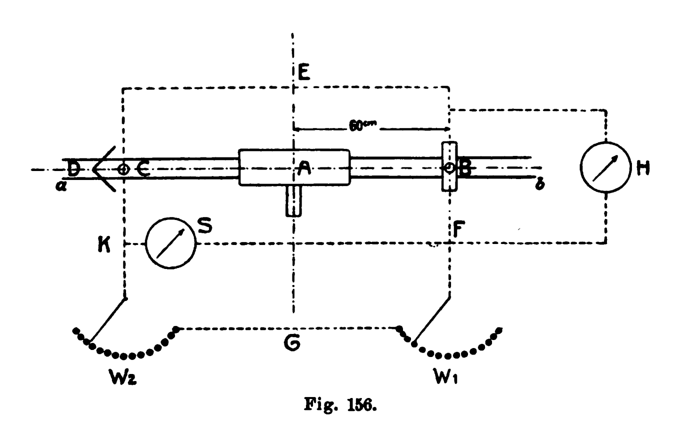


Fig. 156.

daß sie sich fest miteinander verbinden lassen. So können sie gemeinschaftlich der Lampe *C* genähert oder von ihr entfernt werden. Die Entfernung zwischen *A* und *B* beträgt 60 cm und muß nach den Verbandsbestimmungen um 6 cm nach jeder Seite hin verstellbar sein. Der benutzte Winkelspiegel soll aus zwei gleichgroßen quadratischen Stücken ebenen Silberspiegelglases bestehen von 13 cm Seitenlänge und 2—5 mm Dicke. Beide Glasscheiben bilden einen Winkel von 120°, welcher mit der vertikalen Scheitelkante am Ende *a* der Photometerbank so aufgestellt ist, daß er zu ihrer Längsachse symmetrisch steht und dem Photometerkopf zugewandt ist. Der Abstand der Winkelscheitelkante von der Achse der Lampe *C* beträgt 9 cm. Die Achse der Lampe *C* muß vertikal stehen, und die Endpunkte des Kohlenfadens müssen in einer zur Photometerachse senk-

rechten Ebene liegen, d. h. die breite Spiralseite des Fadens muß diese Lage einnehmen. Die Photometerbank trägt eine nach dem Entfernungsgesetz berechnete Teilung in Hefnerkerzen in der Weise, daß der Nullpunkt dem Scheitel des Winkelspiegels entspricht und der Teilstrich 10 um 1 m von dem Nullpunkt entfernt ist. Die Zehntelkerzen sollen noch durch Teilstriche bezeichnet sein. Mit Hilfe von schwarzen Tuchschirmen ist zu vermeiden, daß fremdes Licht auf den Photometerschirm gelangt, jedoch darf kein Teil der Lampen oder ihrer Spiegelbilder abgeblendet werden.

Als Normallampen (étalon) dienen Glühlampen mit einem Energieverbrauch von etwa 4 Watt pro Kerze, welche ungefähr dieselbe Spannung und genau dieselbe Lichtstärke besitzen, welche die zu messenden Lampen besitzen sollen; man braucht demnach nur im allgemeinen Normallampen von 10, 16, 25 und 32 Kerzen. Als Hilfsquelle dient eine fehlerfreie Glühlampe von etwa 10 Hefnerkerzen und für dieselbe Spannung, für welche die zu messenden Lampen bestimmt sind. Zur Herstellung sowohl der Normal- als auch der Hilfslampen empfiehlt es sich, den folgenden Weg einzuschlagen:

Ausgewählte gute Lampen werden etwa 20 Stunden lang bei der bestimmten Spannung gebrannt und hierauf sorgfältig photometriert. Dann läßt man dieselben noch weitere 10 Stunden brennen und mißt wieder. Ergeben die Messungen nach 20 und 30 Stunden genau dieselben Werte, so sind die Lampen nun weiter brauchbar als Normallampen, während bei abweichenden Resultaten dieselben nochmals einer Brennzeit von mehreren Stunden unterworfen werden müssen. Diese Vorsichtsmaßregel bei der Eichung von Normallampen ist absolut unerläßlich, da es eine bekannte Tatsache ist, daß neufabrizierte Lampen in den ersten 20—30 Stunden stark ihre elektrischen und optischen Konstanten zu verändern pflegen, während sie dann ziemlich lange konstant bleiben.

Um Normallampen von großer Konstanz zu erhalten, verwendet man deshalb auch vorzugsweise solche mit hohem Wattverbrauch, z. B. 4—5 Watt pro Hefnerkerze, da dieselben nur geringe Neigung besitzen, sehr schnell die elektrischen Konstanten zu verändern. Um bei diesen Lampen den sogenannten „konstanten Wert“ ziemlich schnell vor der Eichung zu erhalten, werden sie bei einer mäßigen Überspannung (etwa 5 % Überspannung) ca. 20—30 Stunden lang gebrannt.

Um die Spannungsmessung ausführen zu können, liegen in den parallelen Zweigen EFG und EGK einerseits die Lampe B und der Regulierwiderstand W_1, anderseits die Lampe C und der Regulierwiderstand W_1. Bei K und F ist ein Voltmeter S für geringe Spannungen angelegt; außerdem liegt an B ein Voltmeter H, welches den Zweck erfüllt, der Lampe B mit Hilfe von W_1 die vorgeschriebene Spannung zu geben. Die Lampe C erhält jedesmal die ihr zukommende Spannung, indem man unter Benutzung von W_2 im Voltmeter S die entsprechende Spannungsdifferenz zwischen den Lampen C und B herstellt.

Das Photometrieren geschieht nun in folgender Weise: Mit Hilfe des Widerstandes W_2 und des Voltmeters H erhält zuerst die Hilfslichtquelle B die richtige Spannung. Hierauf wird bei C die Normallampe aufgesetzt und mit Hilfe von S und W_2 genau einreguliert. Dann stellt man den Photometerkopf A auf die der Lichtstärke der Normallampe entsprechende Entfernung ein und führt die photometrische Einstellung durch Veränderung der Entfernung AB aus. Schließlich werden AB fest miteinander verbunden.

Ist dies geschehen, so wird bei C an die Stelle der Normallampe die zu messende Lampe gesetzt und unter Benutzung von S und W_2 auf die der Lampe eigentümliche Spannung einreguliert. Die photometrische Messung wird hierauf dadurch bewirkt, daß der mit der Lampe B fest verbundene Photometerkopf so lange verschoben wird, bis auf beiden Seiten gleiche Helligkeit erzielt worden ist. Die Anzahl der gemessenen Kerzen wird nun direkt an der am Photometer angebrachten Skala abgelesen.

Hier sei gleich bemerkt, daß bei diesem Photometer der Zusammenhang zwischen Lichtstärke J und dem zugehörigen in Zentimeter ausgedrückten Abstande r vom Nullpunkte gegeben ist durch die Beziehungen:

$$r = 100 \sqrt{\frac{J}{10}} \text{ und } J = \frac{r^2}{1000}.$$

Diese Beziehungen sind selbstverständlich nur richtig unter der Voraussetzung, daß auf der der zu messenden Lampe abgewandten Seite des Photometerschirmes stets gleiche Beleuchtung herrscht. Bei der oben beschriebenen Meßmethode (Verbandsmethode) wird diese Voraussetzung dadurch erfüllt, daß der Photometerkopf mit der Hilfslichtquelle während der

Messungen fest miteinander verbunden sind und gemeinsam verschoben werden, daß also der Abstand der Hilfslichtquelle vom Photometerschirm und damit auch die Beleuchtung dieser Schirmhälfte immer die gleiche bleibt.

Man bestimmt nun den Wert der zu messenden Lampen nach zweierlei Gesichtspunkten, einmal, wie schon oben angegeben, derart, daß man die zu messende Lampe auf die bestimmte Spannung einreguliert und durch Verschiebung des Photometerkopfes die Lichtstärke bei dieser Spannung ermittelt oder auch, daß man die zu prüfende Lampe auf eine bestimmte Lichtstärke, z. B. genau 25 Hefnerkerzen, einstellt und nun die Spannung ermittelt. Um dies letztere ausführen zu können, muß man selbstverständlich die oben angegebene Meßmethode entsprechend modifizieren. Zunächst wird genau wie vorher die Hilfslampe geeicht, die Normallampe durch die zu prüfende Lampe ersetzt und, ohne daß die Verbindung zwischen Photometerkopf und Hilfslampe gelöst oder geändert wird, das Photometer auf den Teilstrich eingestellt, an dem die gewünschte Horizontallichtstärke abgelesen wird (in unserem Falle also für 25 Kerzen). Darauf wird unter gleichzeitiger Beobachtung des Gesichtsfeldes im Photometerkopf die Spannung der Prüflampe auf jenen Wert einreguliert, bei dem die Beleuchtung beider Schirmseiten gleich ist. Die so gefundene Spannung ist die gesuchte.

Aus den interessanten photometrischen Untersuchungen von F. Uppenborn[1]), der sich der Mühe unterzogen hat, die verschiedenen gebräuchlichen Meßmethoden einer Kontrolle auf Genauigkeit zu unterziehen, geht nun ohne weiteres hervor, daß die Verbandsmethode wohl mit geringen Mängeln behaftet ist, die jedoch gegenüber der überaus einfachen Handhabung des Apparates nur wenig ins Gewicht fallen. Die besten Resultate erhält man weiter nach Dr. E. Liebenthal[2]), wenn Prüflampe und Normallampe möglichst genau gleiche Lichtstärke besitzen. Weiter sollen beide Lampen möglichst genau gleiche Fadenform besitzen, um ziemlich kongruente Polarkurven der Lichtstärke zu erhalten. Demnach wäre es ein ins Gewicht fallender Fehler, etwa eine 10 kerzige Normallampe für eine 32 kerzige Prüflampe zu benutzen, oder eine 110 Volt-Lampe mit einer Fadenschleife, mit einer 220 Volt-Lampe

---

[1]) E. T. Z. 1907, Heft 7 und 8.
[2]) Ztschr. f. Instr. Bd. 19, 1899, S. 193 und 225.

mit zwei Schleifen, oder auch Lampen mit Klarglasglocken mit mattierten Lampen vergleichen zu wollen.

Uppenborn hat beim Studium aller dieser Verhältnisse in der Tat geringere oder größere Abweichungen in den Meßresultaten gefunden, und es hofft deshalb der Verfasser, daß auch in diesem Nebenzweige der Fabrikation nicht mehr so viel gesündigt werden mag in den Glühlampenfabriken, als es bis dahin tatsächlich der Fall war.

Zur Erleichterung des Auffindens der gesuchten Lichtstärke an der Photometerskala hat der Verfasser die von Dr. Leo Ubbelohde ausgerechnete Tabelle für Lichtstärkemessungen angefügt. Die Tabelle gibt direkt die Lichtstärke einer auf dem Skalenteil 250 cm stehenden Lampe an, wenn auf dem Skalenteil 0 eine Lichtquelle von 10 Hefnerkerzen steht. Ist auf dem Skalenteil 0 eine Lichtquelle von einer Hefnerkerze angeordnet, so ist das Komma in der Tabelle um eine Stelle nach links zu verschieben. Steht auf dem Skalenteil 0 eine Lichtquelle von a Hefnerkerzen, so sind die Werte der Tabelle mit $\frac{a}{10}$ zu multiplizieren.

Stellung des Photometerkopfes nach Einstellung auf gleiche Helligkeit in Millimeter

cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Lichtstärke in Hefnerkerzen:									
31	499	495	492	489	485	482	478	475	471	468
40	276	274	273	271	270	268	266	265	263	262
50	160,0	159,2	158,5	157,7	156,9	156,2	155,4	154,6	153,8	153,1
60	100,3	99,9	99,4	99,0	98,6	98,2	97,7	97,3	96,9	96,4
70	66,1	65,9	65,6	65,1	64,9	64,6	64,4	64,2	64,1	63,9
80	45,2	45,0	44,9	44,7	44,5	44,4	44,2	44,0	43,8	43,7
90	31,6	31,5	31,4	31,3	31,2	31,1	30,9	30,8	30,7	30,6
100	22,5	22,4	22,4	22,3	22,2	22,1	22,1	22,0	21,9	21,8
110	16,20	16,15	16,10	16,04	15,99	15,94	15,89	15,84	15,79	15,73
120	11,74	11,70	11,66	11,63	11,59	11,55	11,51	11,48	11,44	11,40
130	8,52	8,49	8,47	8,44	8,41	8,39	8,36	8,33	8,31	8,28
140	6,17	6,15	6,13	6,11	6,09	6,08	6,06	6,04	6,02	6,00
150	4,45	4,44	4,42	4,41	4,39	4,38	4,36	4,35	4,33	4,32
160	3,16	3,15	3,14	3,13	3,12	3,11	3,10	3,09	3,08	3,07
170	2,22	2,21	2,20	2,19	2,18	2,18	2,17	2,16	2,15	2,14
180	1,512	1,506	1,500	1,494	1,488	1,483	1,477	1,471	1,465	1,459
190	0,997	0,993	0,988	0,984	0,980	0,976	0,971	0,967	0,962	0,958
200	0,625	0,622	0,619	0,616	0,513	0,610	0,606	0,602	0,599	0,597
210	0,363	0.361	0,359	0,357	0,355	0,352	0,350	0,348	0,346	0,344

In älteren Fabriken sind oft noch Photometer in Anwendung, deren Länge 3 m beträgt. Aus diesem Grunde soll auch noch die folgende Tabelle angefügt sein für eine Skalenlänge von 300 cm. Links auf der 0-Stellung der Bank ist die bekannte Lichtquelle, rechts auf 300 die zu messende Lampe *b*; die Tabelle gibt nun das Verhältnis der Lichtquellen *b* : *a*.

cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	25,0	23,8	22,7	21,7	20,8	19,8	19,0	18,2	17,4	16,7
60	16,0	15,4	14,7	14,2	13,6	13,1	12,6	12,1	11,6	11,2
70	10,8	10,4	10,0	9,7	9,3	9,00	8,69	8,39	8,10	7,83
80	7,56	7,31	7,07	6,84	6,61	6,40	6,19	5,99	5,80	5,62
90	5,44	5,27	5,11	4,95	4,80	4,66	4,52	4,38	4,25	4,12
100	4,00	3,88	3,77	3,66	3,55	3,45	3,35	3,25	3,16	3,07
110	2,98	2,90	2,82	2,74	2,66	2,59	2,52	2,45	2,38	2,31
120	2,25	2,19	2,13	2,07	2,01	1,96	1,91	1,85	1,80	1,76
130	1,71	1,66	1,62	1,58	1,53	1,49	1,45	1,42	1,38	1,34
140	1,306	1,271	1,238	1,205	1,173	1,142	1,113	1,083	1,055	1,027
150	1,000	0,974	0,948	0,923	0,899	0,875	0,852	0,830	0,808	0,787
160	0,765	0,745	0,726	0,706	0,688	0,669	0,652	0,634	0,617	0,601
170	0,585	0,569	0,554	0,539	0,524	0,510	0,496	0,483	0,470	0,457
180	0,444	0,432	0,420	0,409	0,397	0,386	0,376	0,365	0,355	0,345
190	0,335	0,326	0,316	0,307	0,298	0,290	0,282	0,273	0,265	0,258
200	0,250	0,243	0,235	0,228	0,221	0,215	0,208	0,202	0,196	0,190
210	0,184	0,178	0,172	0,167	0,161	0,156	0,151	0,146	0,141	0,137
220	0,132	0,128	0,123	0,119	0,115	0,111	0,107	0,104	0,100	0,096
230	0,093	0,089	0,086	0,083	0,080	0 076	0,074	0,071	0,068	0,065
240	0,063	0,060	0,057	0,055	0,053	0,050	0,048	0,046	0,044	0,042

Diese Photometer sind am besten in Holzkästen eingebaut, die schwarz angestrichen sind, und bei denen durch geeignetes Anbringen von schwarzen Tuchvorhängen das Eindringen schädlichen Lichtes von außen möglichst vermieden wird.

Die zweite, in ausgedehntem Maßstabe verwendete Methode zum Photometrieren von Glühlampen ist die Winkelspiegelmethode der S i e m e n s & H a l s k e A.-G., Berlin. In Fig. 157 ist eine Photometerbank dieser Gesellschaft abgebildet, deren Meßlänge im Unterschied von der Verbandsmethode nur 2 m beträgt. Eine weitere Abweichung besteht darin, daß an beiden Enden der Meßteilung feste Winkelspiegel stehen, während der Photometerkopf beweglich ist. Der Tubus des Photometerkopfes steht rechtwinklig aus dem das Photometer

umschließenden Kasten heraus und ist verschiebbar in einem horizontalen Schlitz, welcher an beiden Seiten des Photometerkopfes durch über Rollen laufende Bänder verschlossen ist. Man ist deshalb hier in der Lage, mit Sicherheit in einem nicht verdunkelten Raume zu arbeiten, während sich bei anderen Photometerarten die Verdunkelung des Meßzimmers empfiehlt. Das Photometer ist in praktischer Weise mit zwei Skalen versehen worden, von denen die eine in Zentimeter, die andere in Hefnerkerzen eingeteilt ist. Der Teilstrich für

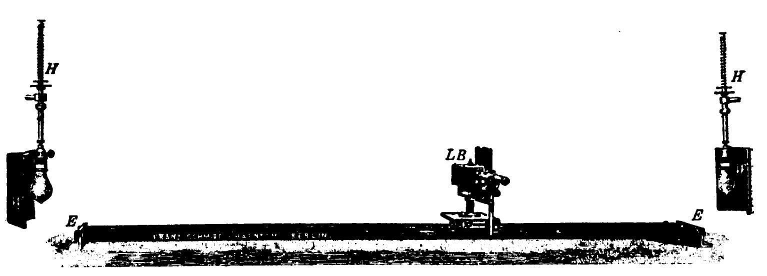


Fig. 157.

10 Kerzen befindet sich in der Mitte der Photometerbank, also in 1 m Entfernung vom Nullpunkt. Die Teilung folgt dem Gesetze:

$$r = \frac{200}{1 + \sqrt{\frac{50}{J}}} \text{ oder } J = 10 \left(\frac{r}{200 - r}\right)^2,$$

wobei J eine bestimmte Horizontal-Lichtstärke und r die zugehörige Entfernung vom Nullpunkt in Zentimetern ist. Die Beleuchtung E des Photometers ist hier nicht konstant, sondern abhängig von r, nämlich:

$$E = \frac{100\,000 \cdot a}{(200 - r)^2},$$

worin a das Verhältnis der durch den Spiegel an der Normallampe vergrößerten Lichtwirkung zur mittleren Horizontal-Lichtstärke der Normallampe ist. Was die Ausführung des Prüfverfahrens anbelangt, so ist sie genau dieselbe wie die unter dem Verbandsverfahren geschilderte. Der Unterschied hierin ist nur, daß, im Gegensatz zum Verbandsverfahren,

Photometer und Zwischenlampe nicht miteinander fest verbunden sind. Von Interesse ist es noch, daß bei der Eichung der Zwischenlampe diese, wenn beide Schirmseiten gleich beleuchtet sind, in der Richtung gegen den Photometerkopf stets und unabhängig von der Lichtstärke der Normallampe eine Lichtstärke von zehn Hefnerkerzen annimmt, vorausgesetzt natürlich, daß die Wirkungen beider Spiegel gleich sind. Ist dies nicht der Fall, so tritt zu zehn noch das Verhältnis beider Spiegelwirkungen als Faktor hinzu.

Sehr eingehende Versuche wurden von F. Uppenborn[1]) über die Verwendbarkeit der aus Amerika stammenden sogenannten Rotationsmethode angestellt. Diese Methode beruht darauf, daß die zu messende Lampe in ständige Rotierung während des Photometrierens gesetzt wird. Nach Uppenborns Untersuchungen stellte es sich jedoch heraus, daß diese Methode sehr starke Fehler gegenüber den beiden angeführten Methoden aufweist, die erstens einmal ihren Grund hat darin, daß durch die schnelle Rotierung der Kohlenfaden eine Formveränderung erleidet, die naturgemäß bei den schwachen Fäden der hochvoltigen Lampen größer wird. Weiter liegt eine weitere Ursache der abweichenden Resultate auch darin, daß nur sehr schwer eine genaue Zentrierung der Lampen erreicht werden kann. Auch in der verbesserten Form dieser nach Angaben von Dr. Lux konstruierten Rotationsvorrichtung bei gleichzeitiger Anwendung einer rotierenden Normallampe lassen sich nicht die gleichmäßigen Resultate der Verbands- und der Winkelspiegelmethode erzielen.

Über andere Arten von Photometriermethoden, z. B. mit Hilfe des Flimmerphotometers in Gegenwart von verschieden gefärbtem Licht und der Photometer mit lichtelektrischen Zellen (Photometer von Dr. J. Elster und H. Geitel und Selenphotometer usw.), verweist der Verfasser auf die oben angeführten Werke.

Zum Schluß dieses Kapitels sei nur noch des Interesses halber eine Tabelle gegeben zum Vergleich der einzelnen, in den verschiedenen Ländern angenommenen Lichteinheiten.

1 franz. Carcel-Einheit =	Docht aus 75 Strängen gewebt, von dem 1 dz = 3,5 g wiegt. 42 g Colzaöl stündlich verbrauchend.

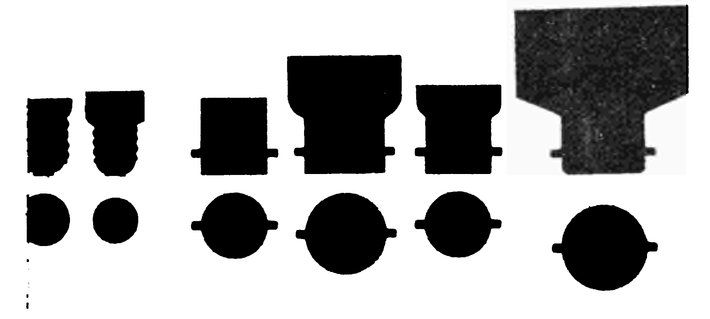
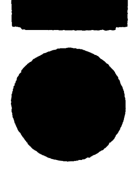
[1]) E. T. Z. 1907, Heft 7 und 8.

1 deutsche Hefnerkerze =	Flamme mit 40 mm Flammenhöhe, gespeist mit Amylacetat von C. A. F. Kahlbaum.
1 deutsche Paraffinkerze = (Verein deutscher Gas- und Wasserfachmänner.)	Kerzendurchmesser 20 mm, Flammenhöhe 50 mm.
1 englische Wallrathkerze = (London Standard Spermaceti candle)	Flammenhöhe 44,5 mm, welche pro Stunde 120 Grains (= 7,77 g) verzehrt.
1 Viollesche Platineinheit =	Einheit des weißen Lichtes (Lichtmenge), welche in normaler Richtung von einem Quadratzentimeter der Oberfläche von geschmolzenem Platin bei der Erstarrungstemperatur abgegeben wird.

Über die Beziehungen der gebräuchlichen Lichtmaße gibt kurz noch folgende Tabelle Aufschluß:

	Platineinheit	Carzel	Franz. Stearinkerze	Deutsche Vereinskerze	Engl. Kerze
Platineinheit	1	2,08	16,1	16,4	18,5
Carcel.	1,481	1	7,75	7,89	8,91
Franz. Stearinkerze . .	0,062	0,130	1	1,02	1,15
Deutsche Vereinskerze .	0,061	0,127	0,984	1	1,13
Engl. Wallrathkerze . .	0,054	0,112	0,870	0,886	1

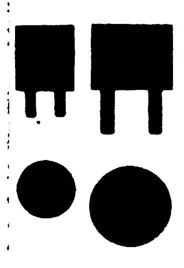
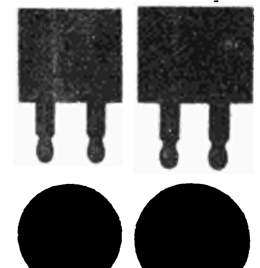
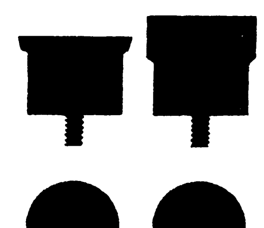
1 Hefnerherze = 0,83 deutsche Vereins-Paraffinkerze,
1 Hefnerkerze = 0,88 englische Spermacetikerze.

ISON
IATUR.

SWAN.

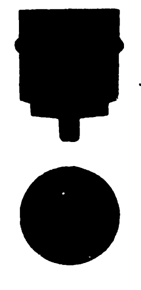
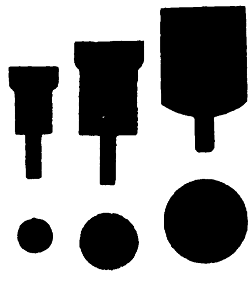
THOMSON-
HOUSTON.

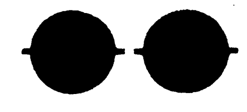




& HALSKE
STECKKONTAKT.

BERNSTEIN
STECKKONTAKT.

CRUTO
SCHRAUBENKONTAKT.



Z).

CENTRAL.

EGGER.

BRUSH
SCHLITZKONTAKT.

XI. Die Befestigung der Kontaktsockel an die Lampen.

A. Die verschiedenen Kontaktsysteme.

Um die nunmehr so weit fertiggestellte Lampe für die Verwendung beim Kunden brauchbar zu machen, ist es nur noch nötig, sie mit dem gewünschten Sockel zu versehen, d. h. die kupfernen Stromzuführungsdrähte derart an die Metallteile des Sockels zu befestigen, daß nach der Herstellung des Stromkontaktes, z. B. beim Einschrauben des Edisonsockels in die zugehörige Fassung, die Stromzuführung nach dem Glühfaden der Lampe ermöglicht wird. Der sogenannte Sockel besteht nun im allgemeinen aus zwei Teilen, die entweder durch entsprechende Porzellanteile oder auch neuerdings durch in flüssigem Zustand eingepreßtes Glas voneinander isoliert worden sind. Jeder dieser Metallteile bildet einen Pol, an welchem isoliert einer der beiden Stromzuführungsdrähte der Lampe befestigt wird. Um ein festes Haften des Sockels an dem Halse der Glasbirne hervorzurufen, bedient man sich eines gewissen Kittes, der erstens einmal eine sichere Isolierung zwischen den beiden Stromzuführungsdrähten bildet, also nicht leitend sein darf, und zweitens beim Erwärmen des Sockels, was ja zumeist beim Brennen der Lampe eintritt, sich nicht verändern darf. Die Stromzuführungsdrähte werden an die betreffenden Metallteile des Sockels durch einfaches Anlöten vermittels eines Weichlotes befestigt.

Was die Kontaktsysteme selbst anbelangt, so treten dieselben in den verschiedenartigsten Formen auf, wie aus der Tafel II zu ersehen ist. Die in Deutschland gebräuchlichsten Kontakte sind die Edison-Kontakte, die sich ganz besonders bewährt haben. In England, Amerika usw. verwendet man zumeist die Swan-Kontakte, während Italien wieder den

Cruto-Schraubenkontakt bevorzugt. In der Tafel sind selbstredend nur die gebräuchlichsten Systeme und Größen angeführt, während außerdem noch eine weitere Anzahl anderer Systeme existiert, die jedoch nie zur Bedeutung gelangt sind.

Im übrigen sind für die gangbarsten Sockelarten von einer besonderen Kommission des deutschen Elektrikervereins genaue Normalien aufgestellt worden, um eine gewisse Einheitlichkeit zu schaffen. Über die Verbandsnormalien und Kaliberlehren für Lampenfüße und Fassungen mit Edison-Gewindekontakt berichtet R. Hundhausen in der E.T.Z. 1900, Heft 45, S. 921. Diese Normalien wurden durch Beschluß des Verbandes Deutscher Elektrotechniker anerkannt, und die Firma J. E. Reinecker in Chemnitz-Gablenz übernahm danach die Ausführung der Kaliberlehren, welche alsbald in der Technik praktische Verwendung fanden. So wurde recht bald erreicht, daß die ursprünglich große Zahl von verschiedenen Sockeldurchmessern auf eine normale Anzahl reduziert wurde, eine Notwendigkeit, die schon oft empfunden wurde.

B. Das Angipsen oder Ankitten der Sockel und Anlöten der Stromzuleitungsdrähte.

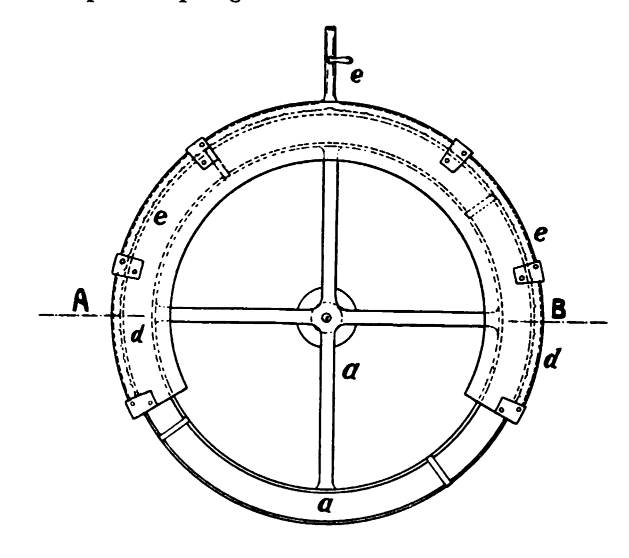
Die zum Ankitten der Sockel verwendeten Kittmittel sind nun sehr verschiedener Art, je nach der Verwendungsweise. Am häufigsten benutzt man reinen Alabastergips, der möglichst frisch gebrannt sein muß, und der mit der nötigen Menge reinen Wassers zu einem Brei angerührt wird. Der Gips wird in den Sockel eingestrichen, die Lampe mit den Stromzuführungsdrähten in den Sockel eingeführt und der Sockel fest auf die Lampe gepreßt. Nach mehrstündigem Stehen ist der Gips hart geworden, und es können nun die Stromzuführungsdrähte angelötet werden.

Diese Kittmethode hat jedoch den Nachteil, daß bei fehlerhaftem Kitten der Sockel nur schwer, meist nur unter Zerstörung der Lampe abgelöst werden kann, und daß das Festwerden des Gipses immerhin eine längere Zeit dauert. Diese Übelstände werden zum Teil dadurch vermieden, wenn man an Stelle des reinen Wassers eine 5—10 %ige Dextrinlösung anwendet. Schief gegipste Lampensockel lassen sich bei Anwendung dieses Kittes sehr leicht mit heißem Wasser ablösen, während auch das Trocknen eine kürzere Zeit beansprucht.

Neuerdings ist eine andere Kittmethode in Anwendung gekommen, die, obwohl etwas teurer, doch eine große Anzahl Vorteile vor den obigen Methoden besitzt. Der verwendete Kitt besteht aus einer Paste, die hergestellt wird durch Vermischen von Zement oder Alabastergips mit einer dicken alkoholischen Schellacklösung. Der Kitt bleibt eine viel längere Zeit gebrauchsfertig als ein Gipsbrei und wird in geringer Menge in den Sockel eingestrichen. Nach Einführung der Lampe wird der Sockel erhitzt, wobei der Alkohol der Lösung verdampft und der Schellack mit dem Zement nun einen äußerst harten Kitt ergibt. Der große Vorteil dieser Kittmethode liegt darin, daß mit Hilfe der in Fig. 158 dargestellten Kittmaschine in kurzer Zeit eine große Anzahl Lampen fertiggestellt werden kann, die nach beendetem Kitt sofort gebrauchsfähig sind. Das lange Warten, wie beim Erhärten des Gipses, fällt hier vollkommen fort. Weiter können schlecht gekittete Lampen ohne Beschädigung derselben wieder repariert werden, da durch Anheizen des Sockels mit einer geeigneten Flamme der Kitt sich erweicht, so daß der Sockel gefahrlos abgezogen werden kann.

Das Kitten nach dieser Methode geschieht mit Hilfe der in Fig. 158 dargestellten Kittmaschine. Diese besteht aus dem doppelten drehbaren Eisenrad *a* (Fig. 158, *I* ist eine obere Ansicht; Fig. 158, *II* ein Schnitt *AB* der Kittmaschine), an dessen oberem Teil Fassungen *b* angeschraubt sind zur Aufnahme der Lampensockel. Am unteren Teil des Rades sind federnde Röhrchen befestigt, die zur Aufnahme der Lampenspitzen und zum Festhalten der ganzen Lampen dienen. Etwa zwei Drittel des Rades sind mit einer mit Asbest ausgelegten eisernen Heizrinne umgeben, in deren Innern der Brenner *e* angeordnet ist. *e* besteht aus einem Gasrohr, aus dessen kleinen Löchern kleine Gasflammen zum Heizen des Kastens heraustreten. In den Lampensockel wird nun eine bestimmte Menge des Schellack-Zementgemisches eingestrichen, der Sockel auf die Lampe gesetzt und das Ganze in die Flammenvorrichtung *b c* eingespannt. Von dort wandert nun die Lampe durch den erhitzten Kasten *d* und tritt nun an der anderen Seite des Kastens wieder heraus, wo sie sich abkühlt und durch eine neue Lampe ersetzt wird. Dieser Kittapparat ist gewöhnlich für ca. 25 Lampen konstruiert; die Leistungsfähigkeit bei ununterbrochener Arbeit beträgt für 10 Stunden etwa 1500 Lampen. Beim Einstreichen der Schellackmasse hat man

die Vorsicht zu gebrauchen, daß nicht zu viel Masse zur Verwendung gelangt, da sich dieselbe beim Erhitzen stark ausdehnt und dann den ganzen Sockelraum ausfüllt und dann sehr leicht den Glaskörper zersprengt.



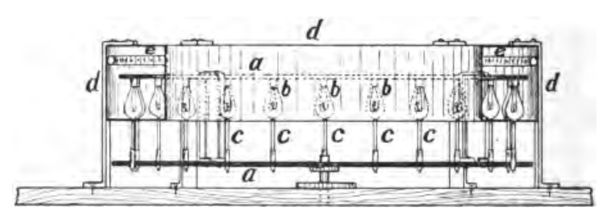


Fig. 158.

Nachdem auf diese Weise der Metallsockel fest auf den Hals der Glasbirne aufgekittet worden ist, erübrigt es sich nur noch, die aus den Öffnungen des Sockels hervorstehenden kupfernen Stromzuleitungsdrähte an die betreffenden Metallteile des Sockels anzulöten. Dies geschieht am besten mit dem in Fig. 159 angegebenen Lötkolben oder auch mit kleinen Gas-

lötkolben für den Handgebrauch. Der Lötkolben besteht aus einem kupfernen dicken Stück *a*, an welchem der gleichfalls aus Kupfer bestehende, zur mit Rille versehenen Spitze ausgearbeitete Teil *b* sitzt. Der Kolben ist montiert auf dem Stativ *d*, welches gleichzeitig regulierbar den Gasbrenner *c* trägt. Um möglichst geringen Wärmeverlust zu haben, ist der ganze Kolben mit einer oben geschlossenen Metallröhre *e* umgeben, die am besten noch mit Asbest ausgekleidet ist. Das Löten geschieht vermittels neutralen Lötwassers und eines Weichlotes an der Spitze *b*. Die Flamme läßt sich derart einregulieren, daß immer ein gleichmäßig heißer Kolben vorhanden ist.

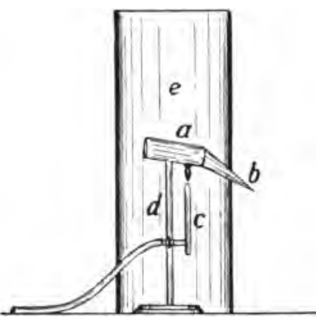


Fig. 159.

Schließlich sei hier noch erwähnt, daß man auch versucht hat, das Angipsen oder Ankitten der Sockel zu umgehen. Es gibt für derartige, mit dem Fachausdruck „gipslose" Lampen versehene Methoden eine Menge Beispiele, deren Beschreibung sich erübrigt, da keins dieser Systeme wirklich Eingang in die Praxis gefunden hat. Bei den meisten dieser Systeme wurde der Glühlampenhals mit entsprechenden Vorsprüngen oder Rillen versehen, die nun das Festhalten des darüber geschobenen, gewöhnlich aus zwei losen Teilen bestehenden Sockels gestatteten derart, daß gleichzeitig isoliert die Stromzuführungsdrähte an den betreffenden Polen festgeklemmt wurden.

XII. Das Putzen, Stempeln, Mattieren, Färben und Verspiegeln der Lampen.

Nach dem Ankitten der Sockel an die Birnen sind dieselben, da sie infolge der vielen Manipulationen naturgemäß schmutzig geworden sind, entsprechend für den Versand zu säubern und blank zu p u t z e n. Dies geschieht gewöhnlich in der Weise, daß zuerst der verwendete Kitt, welcher zwischen Sockel und Birne anhaftet, mit einem Messer oder Spatel vorsichtig entfernt wird. Hierauf werden die Lampen mit einem sauberen, am besten wollenen Lappen gründlich geputzt. Sind schwerer zu beseitigende Flecken vorhanden, so reibt man dieselben am einfachsten mit einem angefeuchteten Gemisch von Schlemmkreide und Ätzkalk oder anderen Mitteln, wie z. B. Wiener Kalk, kräftig ein und putzt mit einem trockenen Lappen nach. Flecken auf dem Sockel werden mit Metallputzmitteln beseitigt.

In den beschriebenen Lampenbrettern, sorgfältig nach Typen geordnet, kommen nun die sauberen Lampen zum S t e m p e l n. Hier unterscheidet man nun ein zweifaches Stempeln, und zwar das Aufstempeln der Type der Lampe auf den Metallsockel und hierauf das Aufätzen der Firmenstempel oder dergleichen auf den Glasballon. Das Aufstempeln der Type (Spannung und Kerzen) hat den Zweck, ein sofortiges Erkennen der Lampe sowohl in der Fabrik als auch beim Konsumenten zu ermöglichen. Verwendet werden gewöhnliche erhabene Gummistempel und eine sogenannte Metallätze. Diese Ätze wird am besten auf einer Glasscheibe aufgewalzt oder auf ein Stempelkissen aufgetragen und nun in der bekannten Weise benutzt.

Die Metallätzen bestehen hauptsächlich aus geeigneten Gemischen von Chlormetallösungen. Eine ausgezeichnete, auf

dem Messingsockel tief schwarz erscheinende Metallätze stellt man sich folgendermaßen her:

1. 1 Teil Platinchlorid ($PtCl_4 \cdot 2 HCl$) werden mit 2 Teilen Antimontrichlorid ($SbCl_3$) vermischt und in einem Porzellanmörser verrieben. Es entsteht infolge der großen Hygroskopität des Antimonsalzes ein dicker Brei, den man durch Zusatz einiger Tropfen Salzsäure etwas verdünnen kann. Diese Lösung wird in einer verschlossenen Flasche aufbewahrt.

Der jetzige hohe Preis des Platins läßt aber die Verwendung dieser Ätze nicht mehr rätlich erscheinen, wenngleich man mit 10 g dieser Ätze annähernd 6000—7000 Lampen stempeln kann. Der Verfasser hat deshalb eingehende Versuche zur Herstellung billigerer Ätzen angestellt. Es sei hierbei erwähnt, daß die folgenden Lösungen nicht den absolut tiefschwarzen Stempel erzeugen wie die erwähnte Platinätze. Dies ist aber nicht absolut notwendig, da es doch nur darauf ankommt, die Type der Lampe dauernd sichtbar zu machen, gleichviel, welche Färbung oder Tönung der Stempel besitzt.

2. 10 Teile Quecksilbersublimat werden mit 20 Teilen Antimontrichlorid verrieben und in wenig Salzsäure gelöst. Diese Ätze wird wie oben beschrieben gebraucht und erzeugt einen schwarzbraunen Stempel.
3. Verreibt man gleiche Teile Kupferchlorür und Wismutoxydchlorid und löst in wenig Salzsäure, so erzeugt die erhaltene Ätze ebenfalls einen sofort erscheinenden schwarzbraunen Stempel.

In ähnlicher Weise verwendet man andere Metallsalze, so vorzugsweise die Silbersalze.

Zumeist wird nun noch ein Mattstempel der Fabrik auf die Lampe geätzt, und zwar gewöhnlich rings um die Spitze der Lampe. Diese Stempel werden erreicht mit einer Flußsäurematttätze von ähnlicher Zusammensetzung der unten beschriebenen Mattierbäder. Ein anderes Verfahren ist das sogenannte Moderowsche Verfahren, welches im folgenden kurz geschildert sei. Nach dem sorgfältigen Trocknen der Lampen wird mit Hilfe eines Gummistempels und einer dicken Kautschuklösung der Stempel auf die Lampe gedrückt. Hierauf wird mit Hilfe eines nicht haarenden Pinsels das feinpulverige Mattiersalz aufgepudert, welches an dem klebrigen Stempel hängen bleibt, während von den übrigen Teilen der Lampe das Salz sauber abgestäubt wird. Zur Erzielung eines scharf-

randigen Stempels ist es notwendig, daß das Mattiersalz absolut trocken ist. Zu diesem Zweck wird das Salz fein gepulvert und in einer Bleischale bei etwa 80—90° C. getrocknet. Nach dem Einpudern des Stempels mit dem Mattiersalz wird die Lampe in geeigneter Weise, z. B. in einer Wärmevorrichtung, für eine kurze Zeit, etwa 5—10 Minuten, auf etwa 250° C. erhitzt. Bei dieser Erhitzung kommt nun das Mattiersalz zur Geltung, frißt sich ein und erzeugt nun einen matten, nicht verwischbaren Stempel.

Dieses Verfahren gibt bei genauer Einhaltung der Vorschriften gute Stempel, ist aber wegen der vielfachen notwendigen Handgriffe recht zeitraubend und daher teuer. Der Verfasser gestattet sich daher, ein sehr einfaches, in vielen großen Fabriken eingeführtes Stempelverfahren anzuführen, welches mit einem einmaligen Druck einen scharfen, beständigen Stempel herzustellen gestattet und diese Arbeit so fördert, daß eine Arbeiterin die vier- bis fünffache Anzahl Lampen als nach dem obengenannten Verfahren stempeln kann. Der eine kleine Nachteil dieser Methode liegt darin, daß die Gummistempel durch die zur Verwendung gelangende Ätze leichter unbrauchbar gemacht werden. Dieser Nachteil ist aber sehr gering einzuschätzen, wenn man bedenkt, daß neben der bedeutend erhöhten Leistungsfähigkeit eine Heizvorrichtung unnötig ist. Das Verfahren ist folgendes: Eine Hartgummi- oder Bleiflasche wird vollständig mit saurem, flußsaurem Ammon (technisch) angefüllt und hierauf konzentrierte Flußsäure von 50 % Gehalt zugegeben so lange, bis das Salz damit bedeckt ist. Hierauf gibt man einige Tropfen einer kaltgesättigten Kaliwasserglaslösung hinzu, schüttelt kräftig um und läßt sie unter dichtem Verschluß stehen. Nach kurzer Zeit ist die Lösung des Ammonbifluorides unter Kälteerzeugung vollständig erfolgt. Die resultierende klare Flüssigkeit wird in eine zweite Flasche abgegossen und dort gut verschlossen aufbewahrt. Zum Gebrauch werden einige Tropfen der Lösung auf einer Gummiplatte vermittels eines Gummirollers breit ausgewalzt, der Stempel damit angefeuchtet und auf der Lampe abgedrückt. Sofort erscheint der Stempel scharf, deutlich und unverwaschbar.

Will man einen sichtbaren Stempel auf mattierten Lampen erzeugen, so verwendet man durchgängig schwarzen Spirituslack und läßt die Buchstaben des Stempels recht schmal ausfallen, um den Stempel nicht allzu aufdringlich erscheinen zu lassen.

Das M a t t i e r e n der Lampen bedeutet eine wenig angenehme Arbeit und wird auf zweierlei Art erreicht:

1. Das mechanische Mattieren wird ausgeführt mit Hilfe der sogenannten Mattiermaschinen, einer besonderen Art von Sandstrahlgebläsen, bei welchen feiner Sand auf die Glasbirnen aufgeblasen wird. Durch mechanisches Herausreißen kleiner Glasstückchen wird die Mattierung erzielt. Die verwendeten Maschinen haben den Vorteil, daß äußerst rasch und ohne Anwendung unangenehmer chemischer Reagentien die Mattierung erscheint, die Nachteile aber, daß durch den feinen Sand, der in die Lager und Maschinenteile, auch bei Anwendung der besten Absaugevorrichtungen, die Maschine sich ewig in Reparatur befindet, und daß durch den kräftig aufschlagenden Sand eine Anzahl von Lampen zertrümmert werden. So lassen sich einige Birnensorten, z. B. Kugel- oder gedrehte Kerzenform, nur mit großem Verlust mattieren, da bei diesen Formen wie der Glühlampentechniker sich ausdrückt, zuviel „Spannung“ im Glaskörper vorhanden ist, welche durch das Aufschlagen des Sandes ausgelöst wird und nun zum Zertrümmern der Lampe führt.
2. Das chemische Mattieren beruht auf der das Glas chemisch zersetzenden Wirkung von Flußsäure oder flußsaurer Salze, wobei ein Blind- oder Mattwerden des angegriffenen Glaskörpers erzielt wird. Die Vorteile dieser Mattiermethode bestehen darin, daß keine teuren Maschinen nötig sind, und daß die entstandene Mattierung feinkörniger und schöner ist als die mit der Sandstrahlgebläsemaschine hergestellte. Außerdem ist die Bruchgefahr auf ein Minimum reduziert. Nachteile sind die gefährliche gesundheitsschädliche Einwirkung der verwendeten Flußsäure auf die Augen und die Respirationsorgane des Arbeiters und die Notwendigkeit einer peinlich genauen Einhaltung der ausprobierten Mattierrezepte. Der erste Nachteil kann allerdings durch Anwendung von Schutzapparaten (sogenannte Lungenschützer, Schutzbrillen und Gummihandschuhe) und ausgezeichnete Ventilation ausgeschaltet werden; so wird das chemische Mattieren wohl durchgängig in besonderen Räumen ausgeführt, wobei die Vorsicht angewendet wird, daß mehrere Arbeiter angelernt werden, die sich nun zeitweise abwechselnd vertreten.

Was das Mattieren der Lampen selbst anbelangt, so soll dies so ausgeführt werden, daß man den glühenden Faden als solchen nicht mehr sehen kann. Das durch den glühenden Faden ausgestrahlte Licht soll gewissermaßen abgedämpft werden, so daß nun der ganze mattierte Ballon als mit ruhigem, mattem Licht erfüllt erscheint. Neben diesem einzigen Vorteil erzeugt aber das Mattieren ganz bedeutende Nachteile, die schwerer ins Gewicht fallen, als man für den ersten Augenblick anzunehmen geneigt ist. Die beiden durch das Mattieren hervorgerufenen Hauptübelstände sind, daß hierbei ein großer Teil des erzeugten Lichtes verloren geht, und daß die Nutzbrenndauer ganz erheblich verringert wird.

Der Lichtverlust bei mattierten Lampen ist natürlich um so größer, je dichter und undurchlässiger die Mattierung ist. Hier unterscheidet sich vorteilhaft die chemische vor der Sandstrahlmattierung. Während bei der ersteren im allgemeinen ein Lichtverlust horizontal gemessen, von ca. 3—4 % eintritt, beträgt derselbe bei letzterer bis 10 % und mehr.

Der Einfluß der Mattierung auf die Lebensdauer ist ein ganz enormer und wird von dem Konsumenten ungerechterweise zu wenig beachtet. Der Grund der Herabminderung der Nutzbrenndauer kann nun ein sehr verschiedener sein. Einmal wird dadurch, daß das vom Glühfaden ausgesandte Licht nicht vollständig ungehindert wegwandern kann, sondern teilweise reflektiert wird, die Lampentemperatur sehr gesteigert, die nun schädlich auf den Faden selbst einwirkt. Bei Lampen, die mit dem Sandstrahlgebläse mattiert worden sind, werden durch das gewaltsame Zerstören der Birnenoberfläche mikroskopische Haarrißchen hervorgerufen, die nun allmählich bei Steigerung der Lampentemperatur vergrößert werden. Ein Eindringen von Luft und allmähliches Verbrennen des Kohlenfadens ist dann die naturgemäße Folge. Interessante eingehende Untersuchungen des Einflusses der Mattierung und verschiedener Glocken auf die Lebensdauer der Lampen haben Cravath & Lansingh[1]) angestellt. Cravath & Lansingh suchten sich 30 Lampen mit gleicher Lichtstärke und gleichem spezifischen Wattverbrauch aus. 10 von diesen Lampen wurden mattiert, 10 in Holophanglocken, deren obere Öffnung offen blieb, und die letzten 10 in Holophanglocken, deren obere Öffnung zum Schutze gegen Ansammlung von Staub mit einer

---

[1]) Electrical World 17, III, 1906, pag. 567.

Asbestscheibe verschlossen wurde, eingesetzt. Der Lichtverlust bei den mattierten Lampen betrug 9 % (waren wahrscheinlich also mit Sandstrahlgebläse mattiert), bei beiden Sorten Holophonlampen 16,5 % (auf die mittlere sphärische Lichtstärke bezogen). Diese drei Lampengruppen wurden gleichartig in einem Stromkreis gebrannt und aus der Lebensdauerbestimmung ermittelt, nach welcher Zeit die mittlere sphärische Lichtstärke der Lampen auf 80 % des Anfangswertes gesunken war. Für Klarglasglocken wurde eine mittlere Nutzbrenndauer von 450 Stunden gefunden, für die Lampen mit offener Holophanglocke 428 Stunden (4401 Kerzenstunden), für die Lampen mit geschlossener Holophanglocke 423 Stunden (4384 Kerzenstunden) und für die mattierten Lampen ohne Glocke 216 Stunden (2380 Kerzenstunden). Die prozentuale Verminderung der Lebensdauer betrug demnach bei den Holophanglockenlampen ungefähr 5,5 %, bei den mattierten Lampen dagegen 52 %. Die Verfasser beweisen damit deutlich, daß es ratsam ist, bei Anwendung lichtzerstreuender Glocken an Stelle des Mattierens die Umhüllung der Lampen mit Holophanglasglocken anzuwenden.

Ähnliche Versuche, die sich mit dem Verhältnis der chemischen zur Sandstrahlmattierung beschäftigten, sind in reichlicher Zahl, auch vom Verfasser, angestellt worden und führten zum Ergebnis, daß die erstere unbedingt den Vorzug verdient.

E. P. Hyde[1]) hat einen weiteren Grund für die anormal große Herabminderung der Nutzbrenndauer mattierter Lampen gefunden, indem er den in der Birnenwandung abgesetzten Niederschlag der zerstäubten Kohle für diese Erscheinung verantwortlich macht. Zur Begründung der Richtigkeit seiner Theorie führte Hyde folgendes an. Wenn die in mattierten Lampen tatsächlich erzeugte höhere Temperatur zur vorzeitigen Zerstörung des Kohlenfadens Anlaß gibt, so muß die absolute Lebensdauer mattierter Lampen eine viel geringere sein als bei Klarglaslampen. Hyde fand aber, daß dies nicht der Fall ist, da vergleichende Beobachtungen für beide Lampensorten dieselbe mittlere Zeit bis zum Durchbrennen des Fadens ergaben. Bei einer mattierten Lampe wird ein verhältnismäßig großer Teil des Lichtes, der bei einer klaren Lampe heraustritt, in das Innere der Birne diffus reflektiert und muß dabei

[1]) The Electrician vom 24. Mai 1907, 233.

nochmals die Glaswand passieren. Aus diesem Grunde findet daher bei mattierten Lampen eine um etwa 5 % größere Lichtabsorption statt als bei klaren Lampen. Schlägt sich nun auf der inneren Glaswand ein Kohlenhäutchen nieder, so wird hierdurch eine erhebliche Erhöhung des Absorptionskoeffizienten der Glaswandung verursacht. Bei einer gebrauchten klaren Lampe passiert der Gesamtlichtstrom das Kohlenhäutchen nur einmal, ein kleiner Prozentsatz zweimal und ein noch kleinerer dreimal. Bei einer mattierten Lampe ist der Prozentsatz, der das Kohlenhäutchen passiert, sehr viel größer, und der Niederschlag hat daher Gelegenheit, einen weit größeren Anteil des Gesamtlichtstromes zu absorbieren.

Hyde beweist seine Theorie folgendermaßen: Neue Lampen und alte, die 20 % ihrer anfänglichen Lichtstärke verloren hatten, wurden gemessen und nun möglichst gleichmäßig mattiert. Bei den hierauf vorgenommenen Messungen zeigten die neuen Lampen eine mittlere Abnahme der Intensität von etwa 4 %, die alten dagegen von 18 %. Die scheinbare Absorption der Mattierung war für die alten Lampen demnach 4,5 mal so groß wie bei den neuen.

Da die Sandstrahlmattierung in allbekannter Weise von nur wenig modifizierten Maschinen ausgeführt wird, soll sie hier nicht näher behandelt werden. Aus einer Gebläsedüse tritt feiner Sand aus und bläst auf den Glaskörper der Lampe. Um ein allseitiges Mattieren zu ermöglichen, wird die Lampe in einen Arm eingespannt, der sich fortwährend dreht. Zum Schutze des Sockels wird derselbe in eine entsprechende Fassung eingeschraubt oder in einer staubsicheren Klemmvorrichtung eingespannt.

Die chemische Mattierung wird, wie schon oben erwähnt, mit den sogenannten Mattierbädern ausgeführt, die im wesentlichen aus wäßrigen Lösungen neutraler oder saurer flußsaurer Salze bestehen, denen bestimmte Mengen freier Flußsäure usw. zugesetzt worden sind. Im folgenden sollen einige bewährte Rezepte von Mattierbädern angegeben werden.

1. 4 kg Mattsalz, gewöhnlich saures flußsaures Ammon (wird in tadelloser Qualität bezogen von R. Rienecker und Dr. W. Schmeißer in Fluor bei Siptenfelde, Harz), werden in 6—7 l Leitungswasser gelöst. Bei der Lösung bleibt gewöhnlich noch ein geringer Bestandteil ungelöst. Hierauf gibt man 1/4 l rohe Flußsäure von 30 % Gehalt hinzu und rührt das Ganze kräftig um. Dieses Mattierbad wird folgendermaßen

angewendet: Die gut geputzten, fettfreien Lampen werden zehn Minuten lang in das Bad eingehängt, hierauf mit reinem Leitungswasser sauber abgespült, getrocknet und nochmals fünf Minuten lang ins Bad eingehängt. Nach dem zweiten Waschen und Trocknen ist die Mattierung fertig, die einen schönen, speckigen Glanz besitzt.

2. 1 kg Ammonbifluorid wird in 2 kg Flußsäure von 60 % Gehalt gelöst. Die resultierende klare Lösung wird mit 55 % ihres Gewichtes trockner Soda vermischt, die wegen der eintretenden stürmischen Kohlensäureentwicklung nur in kleinen Portionen zugesetzt werden darf. Die Anwendung des Bades ist ähnlich wie unter Nr. 1.

3. Ein in amerikanischen Glühlampenfabriken ausprobiertes Mattierbad stellt man sich folgendermaßen her: Sehr starke Flußsäure (ca. 60 %) wird zum Teil mit kristallisiertem Ammonkarbonat derart neutralisiert, daß noch 20 bis 22 % freie Flußsäure im Bad vorhanden sind. Man erreicht dieses Abstumpfen, wenn man zu 4,5 kg der Flußsäure etwa 3,5—4,0 kg kohlensaures Ammon zusetzt. Das Bad wird in geeigneter Weise auf ca. 40° C angewärmt und gibt nach fünf Minuten langem Einhängen und hierauf folgendem Wässern der Lampen die gewünschte Mattierung.

4. Ein recht brauchbares und schnell wirkendes Mattierbad wird hergestellt, wenn 3 kg sehr trockenes kristallisiertes Fluorammon in 2 kg rauchender Flußsäure gelöst werden. Die Lösung wird kräftig umgerührt und 4—5 Stunden stehen gelassen. Hierauf wird die über dem gebildeten Bodensatz überstehende klare Flüssigkeit abgegossen und zu 1 kg der Lösung 700 g kohlensaures Kalium in kleinen Portionen zugegeben, um das sonst eintretende Überschäumen zu vermeiden. Zu 1 kg der resultierenden Flüssigkeit werden nun 300 g trockener pulverförmiger Stärke (Hoffmanns Stärke oder amidon Rémy) hinzugegeben, und nach abermaligem Umrühren ist das Bad zum Gebrauch fertig. Die Lampen werden eine Minute lang eingehängt, abgewaschen und getrocknet.

5. Nach Krüger[1]) erhält man ein schnell wirkendes Mattierbad, wenn man 125 g Flußsäure und 50 g schwefelsaures Ammoniak zusammen erwärmt, bis sich das Ammonsalz vollständig aufgelöst hat. Nach dem Erkalten der Flüssigkeit setzt man allmählich unter Umrühren 150 g kohlensaures

---

[1]) A. Krüger, Herstellung der elektrischen Glühlampe, S. 87.

Ammon zu. Zu dem erhaltenen ziemlich dicken Brei gibt man schließlich noch 125 g reines Wasser. Bei Verwendung dieses Bades empfiehlt es sich, entweder das Bad oder die zu mattierenden Lampen etwas (ca. 30—40° C) anzuwärmen.

Ist nun aus irgend einem Grunde wegen zu kräftiger Wirkung oder zu langer Einhängezeit die Mattierung zu dicht oder weiß geworden, so kann man diesen Schaden leicht durch kurzes Eintauchen der betreffenden Lampen in reine, etwa 20—25 %ige Flußsäure beseitigen.

Was die Arbeitsweise selbst anbelangt, so gestaltet sich dieselbe in höchst einfacher Weise. Verwendet werden als Behälter der Mattierflüssigkeit gewöhnlich gut abgedichtete Holzkästen (Fig. 160, *a*), die der zerstörenden Wirkung der Flußsäure wegen mit dünnem Bleiblech (*b*) ausgeschlagen oder

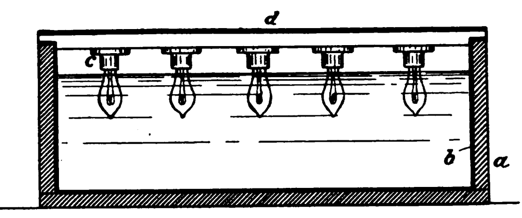


Fig. 160.

mit einer Schicht schwer schmelzbarem Paraffins überzogen worden sind. Es empfiehlt sich, die Dimensionen der Kästen derart zu wählen, daß sie ein großes Quantum Mattierflüssigkeit fassen, so daß man in der Lage ist, mehrere Lampen auf einmal zu mattieren. Eine große Menge der Flüssigkeit verliert außerdem nicht sobald seine Wirksamkeit. Ebenso empfiehlt es sich, nach Verwendung der Bäder dieselben mit einem gut passenden Holzdeckel zu verschließen, um das Hereinfallen von Schmutz und das allmähliche Verdampfen der Flußsäure zu verhüten. Die zu mattierenden Lampen werden nun in stabile Fassungen *c*, die an die Holzleisten *d* angeschraubt sind, eingedreht und langsam, zur Vermeidung ungleicher Mattierränder, in das Bad eingesetzt. An Stelle der Fassungen (Fig. 161, *a*) kann man vorteilhafterweise auch Gummikappen anwenden (Fig. 162, *a*), die den Vorteil haben, daß das zeitraubende Ein- und Ausschrauben vermieden wird, und die weniger empfindlich gegen angespritzte Mattierflüssigkeit sind

als Metallfassungen. Die verwendeten Leisten müssen entsprechend beschwert werden, z. B. durch Auflegen eines dicken Bleibleches *e*, um ein Umkippen infolge des Auftriebes zu vermeiden. Die Lampen werden im allgemeinen so weit in das Bad eingelassen, daß noch am Sockel ein 5—6 mm breiter Rand unmattiert übrigbleibt. Dies hat den Zweck, von unten noch in das Innere der Lampen sehen zu können, um in zweifelhaften Fällen an der Form des Kohlenfadens die Type der Lampe und eventuelle Schäden feststellen zu können. Nach dem Mattieren bringt man die Leiste mit den Lampen in einen zweiten, ebenfalls mit Bleiblech ausgeschlagenen Behälter mit reinem Wasser und läßt behufs Abweichung der sich gebildeten weißen Kruste dieselbe einige Zeit darin stehen.

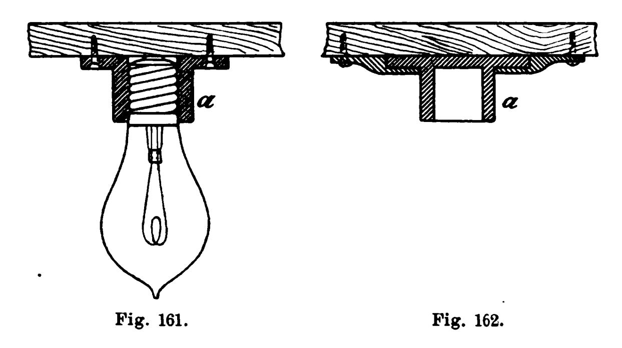


Fig. 161. Fig. 162.

Schließlich werden die Lampen mit einem Schwamm oder weichem Lappen abgewaschen und sorgfältig getrocknet. Hierbei sei bemerkt, daß das Waschwasser im zweiten Behälter sehr bald sauer wird und deshalb zur Verhütung schädlicher Einflüsse öfters erneuert werden muß.

Die Verwendung sogenannter Mattiertauchlacke für große, d. h. hochvoltige Lampen, ist nicht zu empfehlen, da die Mattierung infolge der zunehmenden Hitze sehr bald rissig und angebräunt wird, da sich die in den Mattierlacken befindlichen organischen Bestandteile, vorzugsweise Kollodium, sehr schnell zersetzen. Vorzüglich eignen sich dagegen diese Lacke zum Mattieren der kleinen, niedervoltigen Lampen, die nicht heiß werden. Die Mattierung dieser Lampen birgt noch den Vorteil, daß sie sich mit geeigneten Lösungsmitteln abwaschen läßt und nun wieder erneuert werden kann.

Das Färben der Lampen wird ausgeführt mit Hilfe bunter Glühlampenfarblacke. Sie bestehen in der Regel aus Lösungen von Harzen in Amylacetat mit Zusatz eines Färbemittels oder alkoholischen Lösungen von Kollodium, denen nach Belieben Anilinfarben zugesetzt worden sind. Die Färbung wird erreicht durch Eintauchen der Lampe in den Farblack, der dann als dünnes Häutchen auf der Oberfläche der Glasbirne eintrocknet. Der in der Fig. 163 dargestellte einfache Apparat gestattet ein rasches Färben größerer Mengen von Lampen. Er besteht im wesentlichen aus einer mit Fassungen versehenen Leiste A, die untereinander mit Drähten parallel verbunden sind, so daß die eingeschraubten Glühlampen zum

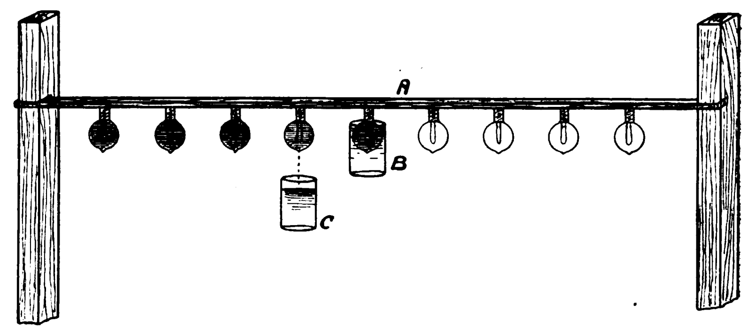


Fig. 163.

Leuchten gebracht werden können. Weiter sind notwendig ein mit Farblack gefülltes Glas B und ein zweites leeres Glas C. Zum Färben wird nun die Lampe in das Glas B untergetaucht und nach dem Entfernen aus der Farbflüssigkeit das leere Glas zum Auffangen der abtropfenden Farbe daruntergehalten. Sind in dieser Weise sämtliche Lampen gefärbt, so werden die sich noch nachträglich an der Spitze der Lampen ansammelnden Tropfen vorsichtig abgetupft und nun die Lampen durch Einschalten zum Leuchten gebracht. Die hierbei entwickelte Wärme fördert das Trocknen des Farblackes derart, daß die Lampen nach kurzer Zeit, etwa 5—6 Minuten, aus den Fassungen herausgeschraubt und durch neue Lampen ersetzt werden können.

Die Herstellung von Lampen aus im Glas gefärbten Birnen ist außer für ganz bestimmte Zwecke fast vollständig aufgegeben

worden. Der Grund liegt darin, daß derartige Glocken sich schwer in glastechnischer Beziehung, z. B. beim Einschmelzen der Füße, verarbeiten lassen, und daß dort gewöhnlich die ursprüngliche Farbe erblaßt oder eine andere Tönung annimmt. Weiter lassen schon sehr geringe Abweichungen in der Dicke der Glaswandung den glühenden Faden heller oder dunkler erscheinen, während bei Anwendung des obengenannten Färbeverfahrens eine absolut gleichmäßige Tönung erzielt wird. Nur für die Herstellung von Lampen für photographische Zwecke verwendet man noch im Glas gefärbte, dunkelrote Glocken oder umgibt Klarglaslampen dicht mit roten Überfangglocken.

In heutiger Zeit werden gefärbte Lampen in Unmengen zu Illuminationszwecken hergestellt. Es gibt Fabriken, die derartige Lampen gegen eine geringe Leihgebühr bei festlichen Gelegenheiten abgeben. Diese Lampen, deren Güte infolge der zeitlich geringen Benutzung noch vollkommen intakt ist, haben aber gewöhnlich an der Färbung gelitten, zumal wenn sie bei regnerischen Tagen im Freien gebrannt haben. Diese Lampen werden nun, sobald sie ihren Zweck erfüllt haben, wieder mit geeigneten Lösungsmitteln gewaschen und neu gefärbt.

Viel größere Schwierigkeiten als das Färben bereitet das Verspiegeln der Lampen. Es gelingt durchaus nicht immer, einen dichten, weißen und haltbaren Silberspiegel zu erhalten. Es sind hierbei eine Anzahl Kautelen von scheinbar geringfügiger Natur zu berücksichtigen, die aber wesentlich zu einem tadellosen, sicheren Gelingen beitragen.

Vorerst sei bemerkt, daß es zur Erzeugung eines festhaftenden Spiegels unbedingt notwendig ist, die Lampenglocke absolut rein und frei von Fetten zu machen. Eine gute Reinigung wird erreicht, wenn gepulverter Ätzkalk mit etwas ammoniakhaltigem Wasser zu einem dicken Brei angerührt wird. Der erhaltene Brei wird mit der Hand auf die Lampe aufgetragen, mit einem sauberen Lappen kräftig eingerieben und nachher mit reinem Wasser abgespült. Ebenfalls ausreichend ist die Reinigung mit Englisch-Rot. Dieses Putzmittel wird mit Wasser zum Brei angerührt und gleichmäßig auf die Lampe aufgetragen, worauf man den Brei völlig eintrocknen läßt. Der trockne Überzug von Englisch-Rot wird nun mit einem trockenen Lappen durch kräftiges Putzen vollständig entfernt.

Nachstehend sind nun einige bewährte Rezepte zur Erzeugung eines rein weißen, haltbaren Silberspiegels angegeben, die sich sämtlich durch sehr schnelles Wirken auszeichnen.

1. a) Silberlösung: 40 g Silbernitrat ($AgNO_3$), geschmolzen oder kristallisiert, werden in 180 g destilliertem Wasser gelöst. Zu dieser Lösung gibt man tropfenweise wässriges Ammoniak, bis der sich anfänglich gebildete gelblich-braune Niederschlag wieder verschwunden ist, füllt das ganze auf 3 Liter auf, schüttelt gut um und bewahrt die Flüssigkeit am besten in einer braunen, gut verschlossenen Glasflasche auf.

   b) Reduktionslösung: 2000 g destilliertes Wasser, 80 g Rohrzucker und 80 g Seignettesalz (Kaliumnatriumtartrat) werden zusammen gegeben und durch Aufkochen in Lösung gebracht. Weiter löst man 16 g Silbernitrat in 80 g destilliertem Wasser und gibt diese Lösung tropfenweise unter stetigem Umrühren der ersten hinzu. Hierauf wird das Ganze nochmals aufgekocht, filtriert und mit 1000 g destilliertem Wasser verdünnt.

Zum Verspiegeln der Lampe bringt man gleiche Teile der Lösungen a und b zusammen, rührt gut um und hängt die Lampe in noch näher zu beschreibender Weise in dieses Bad.

2. a) Silberlösung: Man löst gesondert 6 g Silbernitrat in 60 g destilliertem Wasser und 4 g Ätznatron (geschmolzen) in 100 g Wasser. Beide Lösungen werden zusammengegossen, der entstehende braunschwarze, käsige Niederschlag in einer geringen Menge starken (30 %) Ammoniak bis zur vollständigen Klärung gelöst und das Ganze auf 500 ccm mit destilliertem Wasser verdünnt.

   b) Reduktionslösung: 500 g destilliertes Wasser, 25 g Rohrzucker und 62,5 g Alkohol (96 %) werden zum Kochen erhitzt und während des Kochens etwa 20 Tropfen konzentrierte reine Salpetersäure zugegeben, um den Rohrzucker zu invertieren. Das Kochen wird etwa 1/4 Stunde lang fortgesetzt, die resultierende Flüssigkeit hierauf filtriert.

Um den Silberspiegel auf der Lampe hervorzurufen, vermischt man gut 4 Teile der Lösung a mit 1 Teil von b.

3. 10 g Silbernitrat werden in 100 g destilliertem Wasser gelöst und in gleicher Weise mit Ammoniak geklärt, wie

es schon unter 1 a angegeben worden ist. Zum Versilbern gibt man zu 60 ccm dieser Lösung ca. 25 Tropfen einer 40 %igen Formaldehydlösung.

Wie aus den angegebenen Rezepten ersichtlich ist, beruht das Verspiegelungsverfahren darauf, daß aus einer Silbersalz enthaltenden Lösung vermittels reduzierender Substanzen (invertierter Zucker, Formaldehyd usw.) das Silber in feiner metallischer Form ausgeschieden wird, welches sich nun als Spiegel an glatten, reinen Flächen ansetzt. Die Konzentration der Lösungen muß derart sein, daß sich das reduzierte Silber nicht zu schnell abscheidet, da es sonst in gelb-

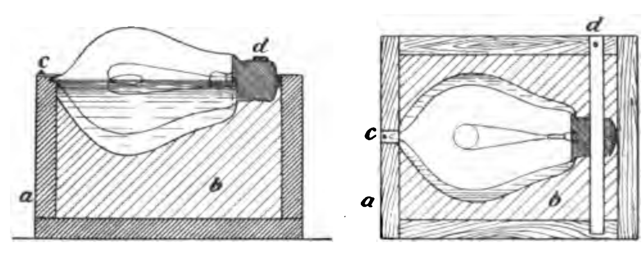


Fig. 164.

licher Farbe und wenig anhaftend erscheint, aber auch nicht zu langsam, da sonst die Arbeitsweise zu langwierig wird und ein erzeugter Spiegel durch zu langes Verbleiben in der Lösung wieder zum Abblättern neigt.

Die zum Verspiegeln der Lampen notwendigen Apparate sind von sehr einfacher Konstruktion, die sich darnach richtet, welcher Teil der Lampe mit einem Reflektor versehen werden soll. So zeigt Fig. 164 eine Anordnung zum seitlichen Verspiegeln von Lampen, Fig. 165 zum Verspiegeln am Sockel und Fig. 166 eine gleiche zur Erzeugung des Reflektors an der Spitze der Lampe.

Der Behälter zur Aufnahme des Silberbades besteht in einfachster Weise aus einem Holzkästchen *a*, welches mit schwer schmelzbarem Paraffin *b* ausgefüllt ist. Aus dieser Paraffinfüllung schneidet man ein der Lampenform entsprechendes Bassin derart aus, daß überall noch zwischen Paraffin und Lampe ein zur Aufnahme des Silberbades notwendiger Zwischenraum von zirka 1,5 cm freibleibt. In Fig. 164 I und II ist

ein derartiges Kästchen im Schnitt und Obenansicht gezeichnet. Zum Festhalten der Lampen bringt man am besten das die Spitze der Lampe einklemmende, drehbare Metallstück *c* an, während der Sockel der Lampe durch die an einer Seite des Holzkästchens angeschraubte Feder *d* zum Verharren in seiner Lage gezwungen wird.

In Fig. 165 ist ein Bad dargestellt, das zum Verspiegeln kugelförmiger Lampen dient, die den Reflektor am Sockel

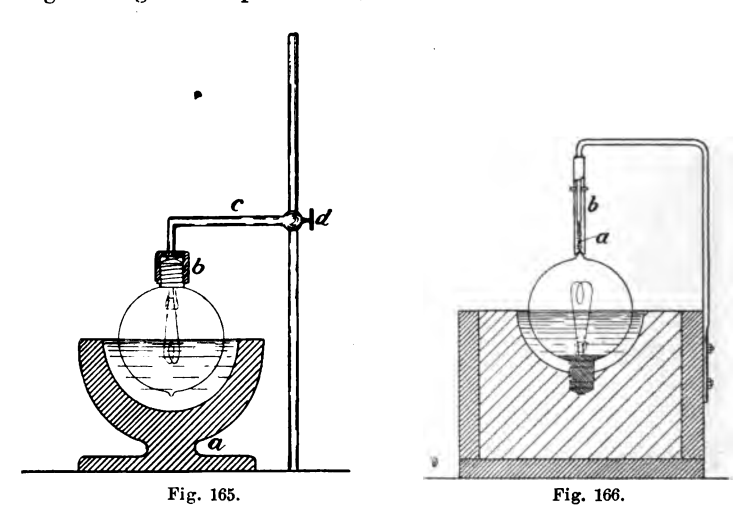


Fig. 165. Fig. 166.

erhalten sollen. Hier wird das Festhalten der Lampe im Bad derart bewerkstelligt, daß eine vermittels der Feder *a* nach unten gedrückte, mit einer zur Aufnahme der Lampenspitze versehene Metallröhre *b* einen genügend großen Druck nach unten hin ausübt.

Fig. 166 veranschaulicht ein Silberbad zur Erzeugung eines Reflektors an der Spitze der Lampe. Der Behälter zur Aufnahme des Spiegelbades besteht hier aus einem becherartigen Glaskörper *a*. Die Lampe wird in die Fassung *b* eingeschraubt, welche vermittelst der daran befestigten Stange *c* und der Führung *d* nach Belieben gehoben und gesenkt werden kann.

Bevor nun die Lampen in das Silberbad eingesetzt werden, müssen selbstverständlich die Metallsockel vor der Berührung

mit dem Bad geschützt werden, um eine Abscheidung des Silbers auf denselben zu verhüten. Man erreicht diesen Schutz durch Überschieben von Gummifingern über die Sockel oder besser noch durch Umhüllen der Sockel mit Paraffin. Das letztere wird am besten so ausgeführt, daß man schwer schmelzbares Paraffin (Schm.-P. zirka 80° C) schmilzt und den Sockel in die Schmelze eintaucht, so daß noch eine 2—3 mm breite Schicht des Glasballons mit vom Paraffin überzogen ist. Hierdurch wird erreicht, daß sich dort kein Silberspiegel absetzen kann, der sonst eine leitende Verbindung zwischen Spiegel und Sockel herstellen würde.

Nachdem die Lampen in dieser Weise vorbereitet worden sind, werden sie in der oben genannten Weise tadellos gereinigt und in das Silberbad eingesetzt. Hierbei sei noch bemerkt, daß die zu verspiegelnden Lampen vorher genau auf nicht abwaschbare Flecken, Streifen oder Kratzer zu untersuchen sind, da dieselben nach dem Verspiegeln sehr deutlich hervortreten und den Spiegel verunzieren. Bei Verwendung der unter 1 und 2 angegebenen Silberbäder erscheint der Spiegel nach etwa vier bis fünf Minuten zuerst als feiner bläulicher Anflug, der bald dichter wird und nun in der Farbe von gelblich nach rein weiß übergeht. Nach etwa 20 Minuten ist der Spiegel fertig, und es kann die Lampe aus dem Bad herausgenommen werden. Bei der unter 3 angegebenen Reduktion des Silbers vermittels Formaldehydes erscheint der Spiegel etwas schneller.

Hierauf werden die Lampen gewaschen und getrocknet. Ein gründliches Waschen, d. h. ein sorgfältiges Befreien des erzeugten Spiegels von allen anhaftenden Unreinigkeiten, ist von großer Bedeutung insofern, als der nun noch nach dem Trocknen zum Schutze des Spiegels aufzutragende Überzug besser hält bei gut gewaschenen Lampen als bei schlecht gewaschenen. Der Verfasser hat gefunden, daß das beste Reinigungsverfahren folgendes ist: Zuerst wird die Lampe ein paarmal in schwach ammoniakalisches Wasser (5 Tropfen Ammoniak auf 500 ccm) eingetaucht und hierauf mehrere Male mit reinem Leitungswasser nachgespült. Nach der Behandlung mit ammoniakhaltigem Wasser erscheint der Spiegel viel weißer, als im Bade vorher, und haftet so fest am Glas, daß er nur mit Mühe abgeputzt werden kann. Das hierauf folgende Trocknen erfolgt am besten in geeigneter Weise in einem Trockenschrank, der auf etwa 80° C angewärmt wird.

Es kommt nun darauf an, den an und für sich fertigen Silberreflektor mit einem beständigen, luftundurchlässigen Überzug zu versehen, da die ungeschützte Silberschicht mit der Zeit von den Luftatmosphärilien und anderen Agentien, Säuredämpfen etc. angegriffen würde. Auch würde infolge der Erwärmung der Lampe ein allmähliches Abplatzen der Metallschicht unvermeidlich sein. Der zu verwendende Überzug muß nun derart beschaffen sein, daß er die angeführten Übelstände ausschließt, selbst aber gegen Abblättern oder Abspringen beim Erhitzen widerstandsfähig ist. Man hat deshalb einen Überzug zu wählen, der in erster Linie denselben oder nahezu denselben Ausdehnungskoeffizienten besitzt, als Glas, so daß ein Abspringen oder Rissigwerden des Überzugs unmöglich wird. Einen derartigen, allen Ansprüchen genügenden Überzug stellt man sich folgendermaßen her: Farbloser Glühlampenlack (bezogen von Dr. Perl & Co., Berlin) wird zuerst mit einer geringen Menge Kupfer-, Aluminium- oder Messingbronze innig verrieben und nun mit einem nicht haarenden Pinsel der Silberspiegel damit bedeckt. Nach dem völligen Trocknen des ersten Überzugs wird ein zweiter Überzug hergestellt in der Weise, daß dem vorher benutzten Lack eine größere Menge Bronze zugesetzt wird, um nun eine vollkommene Deckung zu erzielen. Der Verfasser hat derartige Reflektorlampen mit 10 % Überspannung mehrere hundert Stunden brennen lassen, ohne daß der Spiegel schadhaft geworden wäre oder der Überzug abgeplatzt sei.

In neuerer Zeit wird auch der Silberspiegel auf galvanischem Wege mit Kupfer überzogen, und soll sich dieses Verfahren ebenfalls bewährt haben.

Das in der Versilberungsflüssigkeit enthaltene Silber setzt sich nun zum geringsten Teile als Spiegel auf der Lampe ab, sondern scheidet sich in brauner Farbe flockig in der Flüssigkeit selbst und an den Wandungen des Behälters ab. Dieses Silber repräsentiert nun einen großen Wert und muß deshalb zurückgewonnen und der Fabrikation wieder zugeführt werden. Zu diesem Zwecke wird nach dem Entfernen der verspiegelten Lampe aus dem Silberbad die übrigbleibende trübe Flüssigkeit sorgfältig gesammelt, ebenfalls das lose an den Wandungen des Behälters sitzende Silber mit einer weichen Bürste abgebürstet und ebenfalls in den Sammelbehälter eingespült. Das Ganze wird hierauf filtriert, der Filterrückstand getrocknet und mit der gleichen Gewichtsmenge trockner,

pulverisierter Soda vermischt. Dieses Mischprodukt wird in einen Schamottetiegel gebracht, in einem geeigneten Ofen auf etwa 1100° C erhitzt, worauf man nach dem Erkalten des Tiegels das gesamte Silber als Regulus geschmolzen am Boden des Tiegels vorfindet.

Bei den heutigen Silberpreisen kostet das Verspiegeln einer mittelgroßen Lampe nach obigem Verfahren inklusive aller Arbeitslöhne etwa sieben bis acht Pfennige, sofern man auf die Zurückgewinnung des im Bade verbleibenden Silbers bedacht ist.

Schlufswort.

Im vorstehenden Werke glaubt der Verfasser seiner Aufgabe gerecht geworden zu sein, ein anschauliches Bild der Glühlampenfabrikation, soweit sie sich auf die Herstellung von Lampen mit Kohlenfäden bezieht, gegeben zu haben. Es war nicht immer ganz leicht, das Unwichtigere von dem Wichtigen zu trennen, da bekanntlich hierin die Meinungen der Glühlampentechniker weit auseinandergehen. Eine weitere große Schwierigkeit bestand darin, die neuesten Maschinen und Arbeitsmethoden zu erlangen. Gerade in der Glühlampenbranche treten fast täglich Neuerscheinungen auf, die ausnahmsweise ängstlich gehütet werden, bis sie doch schließlich in die Allgemeinheit durchsickern. Mit Hilfe seiner guten Beziehungen in der Glühlampentechnik ist es jedoch dem Verfasser gelungen, sehr schnell diese Neuheiten zu erfahren und in vorstehendem Buche mit aufzunehmen. Der Verfasser glaubt damit, den Wert des Buches ganz erheblich erhöht zu haben und gibt sich der Hoffnung hin, daß dasselbe denselben Beifall finden möge, wie der erste Band über die Fabrikation der Kohlenfäden. Der Verfasser gestattet sich hiermit den Herren Glühlampentechnikern seinen Dank auszusprechen über die ihm brieflich und mündlich gezollte Anerkennung und bittet, ihm bei einer eventuellen Neuauflage mit interessantem Material behilflich zu sein.

Namenregister.

Sachregister.

Pierersche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.


G.E. STECHERT
& CO.
NEW YORK